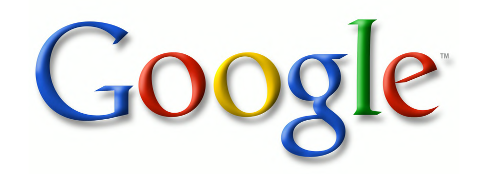


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/


Digitized by Google

L Soc 1626.22

HARVARD COLLEGE LIBRARY




BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787–1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

C 174

# MÉMOIRES

DE LA SOCIÉTÉ DES

# SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

DE BORDEAUX

Ser 4
4

Digitized by Google

Digitized by Google

# MÉMOIRES

DE LA SOCIÉTÉ

# DES SCIENCES

## PHYSIQUES ET NATURELLES

DE BORDEAUX

4e SÉRIE

---

TOME IV

---


PARIS

GAUTHIER-VILLARS & FILS

IMPRIMEURS-LIBRAIRES DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU
DES LONGITUDES, SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

A BORDEAUX

CHEZ FERET ET FILS, LIBRAIRES

15, cours de l'Intendance, 15

1894


Digitized by Google

L Soc 1626.22

HARVARD COLLEGE LIBRARY
DEGRAND FUND
Dec 30, 1926

Digitized by Google

# LISTE

DES

# PRÉSIDENTS ET VICE-PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ

## de 1853 à 1893

| ANNÉE | PRÉSIDENT | VICE-PRÉSIDENT |
|---|---|---|
| 1853-1854 | BAZIN. | DELBOS. |
| 1854-1855 | BAZIN. | » |
| 1855-1856 | BAZIN. | » |
| 1856-1857 | ORÉ. | » |
| 1857-1858 | BAUDRIMONT. | » |
| 1858-1859 | BAZIN. | » |
| 1859-1860 | BAUDRIMONT. | » |
| 1860-1861 | ABRIA. | » |
| 1861-1862 | LESPIAULT. | ORÉ. |
| 1862-1863 | BAUDRIMONT. | ROYER. |
| 1863-1864 | ORÉ. | AZAM. |
| 1864-1865 | AZAM. | ROYER. |
| 1865-1866 | ROYER. | H. GINTRAC. |
| 1866-1867 | H. GINTRAC. | O. DE LACOLONGE. |
| 1867-1868 | O. DE LACOLONGE. | GLOTIN. |
| 1868-1869 | GLOTIN. | JEANNEL. |
| 1869-1870 | LINDER. | DELFORTERIE. |
| 1870-1871 | LINDER. | DELFORTERIE. |
| 1871-1872 | DELFORTERIE. | ABRIA. |
| 1872-1873 | ABRIA. | RATHEAU. |
| 1873-1874 | BAUDRIMONT. | SERRÉ-GUINO. |
| 1874-1875 | SERRÉ-GUINO. | BAYSSELLANCE. |
| 1875-1876 | BAYSSELLANCE. | LOQUIN. |

Digitized by Google

| ANNÉE | PRÉSIDENT | VICE-PRÉSIDENT |
|---|---|---|
| 1876-1877 | LOQUIN. | HAUTREUX. |
| 1877-1878 | HAUTREUX. | E. BOUTAN. |
| 1878-1879 | E. BOUTAN. | MICÉ. |
| 1879-1880 | DUPUY. | MILLARDET. |
| 1880-1881 | MILLARDET. | DE LAGRANDVAL. |
| 1881-1882 | DE LAGRANDVAL. | G. RAYET. |
| 1882-1883 | G. RAYET. | FOURNET. |
| 1883-1884 | G. RAYET. | FOURNET. |
| 1884-1885 | G. RAYET. | FOURNET. |
| 1885-1886 | G. RAYET. | BOUCHARD. |
| 1886-1887 | G. RAYET. | BOUCHARD. |
| 1887-1888 | G. RAYET. | AZAM. |
| 1888-1889 | G. RAYET. | TANNERY. |
| 1889-1890 | TANNERY. | GAYON. |
| 1890-1891 | AZAM. | GAYON. |
| 1891-1892 | DUPUY. | GAYON. |
| 1892-1893 | DROGUET. | BLAREZ. |

Digitized by Google

# LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ

au 1er Novembre 1893.

---

## Composition du Bureau pour l'année 1893-1894.

MM. FOURNET, A., *Président honoraire.*
BAYSSELLANCE, O. ✱, *Président.*
BLAREZ, *Vice-Président.*
RAYET, ✱, *Secrétaire général.*
PIONCHON, CROIZIER, ✱, } *Secrétaires adjoints*
BRUNEL, *Archiviste.*
CHAVANNAZ, *Trésorier.*
GAYON, ✱,
MILLARDET, ✱,
DE LAGRANDVAL, ✱,
PÉREZ, ✱,
AZAM, ✱,
BOUCHARD, O. ✱,
MORISOT,
JOLYET,
LESPIAULT, ✱,
N...,
HAUTREUX, ✱,
DROGUET, ✱,
} *Membres du Conseil.*

## Membres titulaires (1).

MM. AIGNAN, professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
*ASTOR, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.
AUGIS, ✱, ingénieur de la Compagnie du Midi.
AZAM, ✱, professeur à la Faculté de Médecine.
BADAL, ✱, professeur à la Faculté de Médecine.
BARCKHAUSEN, ✱, professeur à la Faculté de Droit.
BARTHE, professeur à la Faculté de Médecine.
BAYSSELLANCE, O. ✱, ingénieur des Constructions navales en retraite, ancien maire de Bordeaux.
BERGONIÉ, professeur à la Faculté de Médecine.
BICHON, licencié ès sciences.
BLAREZ, professeur à la Faculté de Médecine.
BORDIER, préparateur de physique à la Faculté de médecine.
BOUCHARD, O. ✱, professeur à la Faculté de Médecine.
BOULOUCH, professeur au Lycée.
BOUTINEAU, pharmacien-major de 2e classe.

(1) Les membres dont le nom est précédé d'un astérisque sont membres à vie.

Digitized by Google

MM. BROCHON (E.-H.), avocat à la Cour d'Appel.
BRUNEL, professeur de calcul infinitésimal à la Faculté des Sciences.
CAGNIEUL, ancien préparateur à la Faculté des Sciences.
CARI-MANTRAND, chimiste en chef des Contributions indirectes.
CARLES, agrégé à la Faculté de Médecine.
CARMIGNAC-DESCOMBES, ingénieur des Manufactures de l'État à Morlaix.
CARON, professeur de Mathématiques au Lycée en retraite.
CHADU, professeur de Mathématiques au Lycée.
CHAVANNAZ, licencié ès sciences, étudiant en médecine.
CHENEVIER, chimiste au Chemin de fer du Midi.
CHEVASTELON, préparateur de Chimie à la Faculté des Sciences.
COLOT, licencié ès sciences, professeur de Mathématiques.
COUPERIE, président de la Société d'Agriculture.
CROIZIER, ✻, capitaine en retraite.
DELMAS, ✻, docteur en médecine, direct. de l'hydrothérapie des Hôpitaux.
DELMAS, ancien élève de l'École polytechnique.
DENIGÈS, professeur à la Faculté de Médecine.
DEVAUX, maître de conférences à la Faculté des Sciences.
DOUBLET, aide-astronome à l'Observatoire.
DROGUET, ✻, directeur des postes et télégraphes, en retraite
DUBOURG, chimiste à la Douane.
DUCHEMIN, chimiste adjoint des Contributions indirectes.
DUPUY, professeur de Mathématiques au Lycée, en retraite.
DURÈGNE, sous-ingénieur au Télégraphe.
ELGOYHEN, élève à la Faculté des Sciences.
ELLIE, ingénieur civil.
FABRY, professeur de Physique au Lycée Saint-Louis à Paris.
FALLOT, professeur à la Faculté des Sciences.
FIGARET ✻, officier supérieur du Génie en retraite.
FIGUIER, ✻, professeur à la Faculté de Médecine.
FOUGEROUX, percepteur des Contributions directes.
*FOURNET, ✿ A., ancien fabricant de produits chimiques.
GADEN, négociant.
GAULNE (DE), propriétaire.
*GAYON, ✻, professeur de Chimie à la Faculté des Sciences, chimiste en chef à la Douane.
GENDRON, électricien.
GOGUEL, chargé de conférences à la Faculté des Sciences.
GUESTIER (Daniel), négociant.
GYOUX, docteur en médecine.
HADAMARD, professeur de mécanique à la Faculté des Sciences.
HAUSSER ✻, ingénieur en chef des Chemins de fer du Midi.
HAUTREUX, ✻, lieutenant de vaisseau, directeur des mouvements du port en retraite.
HUGOT, préparateur à la Faculté des Sciences.
ISSALY (l'abbé), licencié ès sciences mathématiques.
JOANNIS, professeur à la Faculté des Sciences.

Digitized by Google

MM. JOLYET, professeur à la Faculté de Médecine.
JOUET, propriétaire.
KOWALSKI, professeur de Mathématiques.
KÜNSTLER, professeur adjoint à la Faculté des Sciences.
LABAT, ✻, ingénieur des constructions maritimes, député de la Gironde.
LABORDE, préparateur de la Station agronomique.
LACROIX, professeur de Mathématiques au Lycée.
LAGACHE, ingénieur des Arts et Manufactures.
LAGRANDVAL (DE), ✻, professeur honoraire de Mathématiques spéciales au Lycée.
LAMEY, chimiste.
LANDE, ✻, agrégé à la Faculté de Médecine, médecin adjoint des hôpitaux.
LASSERRE, licencié ès sciences.
LAVERGNE (comte DE), ✻, propriétaire.
*LESPIAULT, ✻, doyen honoraire de la Faculté des Sciences.
MESTRE, pharmacien-chimiste.
MICÉ, ✻, recteur de l'Académie de Clermont.
MILLARDET, ✻, correspondant de l'Institut, professeur de Botanique à la Faculté des Sciences.
MORISOT, professeur à la Faculté des Sciences.
PÉREZ, ✻, professeur de Zoologie à la Faculté des Sciences.
PETIT, docteur ès Sciences naturelles, chef des travaux de botanique à la Faculté des Sciences.
PICART, aide-astronome à l'Observatoire, chargé de cours à la Faculté des Sciences.
PIÉCHAUD, agrégé à la Faculté de Médecine.
PIONCHON, professeur à la Faculté des Sciences.
PRAT, chimiste.
RAGAIN, licencié ès sciences, professeur de dessin graphique au Lycée.
RAYET (G.), ✻, correspondant de l'Institut, doyen de la Faculté des Sciences, directeur de l'Observatoire de Bordeaux.
ROCH, chimiste.
RODIER, agrégé de l'Université, directeur du Jardin botanique.
ROZIER, professeur de Mathématiques.
SANSON, profeseur de Mathématiques au Lycée.
*TANNERY (P.), ingénieur des Manufactures de l'État, à Paris.
TURPAIN, licencié ès sciences, étudiant.
TRENQUELÉON (DE BATZ DE), professeur de Mathématiques au Lycée.
VALLANDÉ (DE), étudiant à la Faculté des Sciences.
VERGELY, ✻, professeur à la Faculté de Médecine.

## Membres honoraires.

MM. BATTAGLINI (G.), professeur à l'Université de Rome, rédacteur du *Giornale di Matematiche*.
BONCOMPAGNI (le prince D. Balthazar), à Rome.

Digitized by Google

MM. DARBOUX (G.), ✻, membre de l'Institut, doyen de la Faculté des Sciences de Paris.

DE TILLY, major d'Artillerie, directeur de l'arsenal d'Anvers.

FORTI (Angelo), ancien profess. de Mathématiques au Lycée Royal de Pise.

FRENET, ✻, professeur honoraire à la Faculté des Sciences de Lyon, à Périgueux.

KOWALSKI, directeur de l'Observatoire de l'Université impériale de Kazan (Russie).

LINDER, O. ✻, inspecteur général des Mines, à Paris.

RUBINI (R.), professeur à l'Université Royale de Naples.

## Membres correspondants.

MM. ANDREEFF, professeur à l'Université de Kharkof.

ARDISSONE, professeur de Botanique à l'École Royale d'Agriculture de Milan.

ARIÈS, capitaine du Génie.

BJERKNES, professeur à l'Université de Christiania.

CURTZE (Max.), professeur au Gymnase de Thorn.

DILLNER (G.), professeur à l'Université d'Upsal.

ÉLIE, professeur au collège d'Abbeville.

ERNST (A.), professeur d'Histoire naturelle à l'Université de Caracas.

GARBIGLIETTI, docteur en médecine, à Turin.

GAUTHIER-VILLARS, O. ✻, ancien élève de l'École Polytechnique, libraire éditeur, à Paris.

GOMES TEIXEIRA (F.), professeur à l'Université de Coimbre.

GRAINDORGE, professeur à l'École des Mines, à Liège.

GÜNTHER (Dr. Sig.) professeur au Gymnase d'Ansbach.

HAILLECOURT, inspecteur d'Académie en retraite, à Périgueux.

HAYDEN, géologue du Gouvernement des États-Unis.

IMCHENETSKY, membre de l'Académie Impériale de Saint-Pétersbourg.

LAISANT, ✻, ancien officier du Génie, député de la Loire-Inférieure.

MUELLER (baron Ferd. von), membre de la Société Royale de Londres, directeur du Jardin Botanique de Melbourne (Australie).

PEAUCELLIER, O. ✻, général du génie.

PICART, professeur de Botanique en retraite, à Marmande (Lot-et-Garonne).

PONSOT (Mme), propriétaire aux Annereaux, près Libourne.

ROIG Y TORRES (D. Rafael), naturaliste à Barcelone, directeur de la *Crónica Científica*.

ROUX, ✻, docteur en Médecine, à Paris.

TRÉVISAN DE SAINT-LÉON (comte DE), à Milan.

WEYR (Éd.), professeur à l'Université de Prague.

---

Digitized by Google

# EXTRAITS

DES

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ

**ANNÉE 1892-93.**

**Présidence de M. DROGUET.**

**Séance du 24 novembre 1892.** — La Société procède au renouvellement de son Bureau pour l'année 1892-93. Sont élus :

| | |
|---|---|
| *Président* .......................... | M. DROGUET. |
| *Vice-Président* .................... | M. SOULÉ. |
| *Secrétaire général* ............... | M. RAYET. |
| *Secrétaires adjoints* .............. | MM. CROIZIER ET PIONCHON. |
| *Archiviste* ......................... | M. BRUNEL. |
| *Trésorier* ........................... | M. CHAVANNAZ. |

**Membres du Conseil d'administration :**

| 1re SÉRIE | 2e SÉRIE | 3e SÉRIE |
|---|---|---|
| MM. MILLARDET. | MM. BOUCHARD. | MM. LESPIAULT. |
| DE LAGRANDVAL. | MORISOT. | HAUTREUX. |
| PÉREZ. | JOLYET. | GAYON. |
| DUPUY. | MERGET. | BAYSSELLANCE. |

— M. RAYET lit une notice sur la vie et les travaux de M. Abria qui sera publiée dans le tome IV des *Mémoires* de la Société.

— M. JOANNIS expose devant la Société les résultats de ses recherches sur l'expérience classique de Hall. Il résulte des mémoires publiés par le physicien anglais que l'interprétation de ses expériences doit être faite d'une façon différente de celle qui est généralement donnée dans les cours et les traités de chimie. Hall n'a pas, en effet, obtenu la fusion du carbonate de chaux en empêchant seulement par une pression suffisante de l'acide carbonique la décomposition totale du calcaire; l'emploi de pressions de plusieurs centaines de kilogrammes par centimètre carré exercées à l'aide de corps solides permettait d'abaisser la température de fusion du carbonate de chaux à un point plus facile à atteindre. Peut-être doit-on attribuer à cette confusion des pressions gazeuses



Digitized by Google

et des pressions mécaniques l'insuccès des divers expérimentateurs qui n'ont pu reproduire cette expérience. Au contraire, M. Lechatelier, qui vient d'annoncer à l'Académie des Sciences qu'il a réussi à fondre le carbonate de chaux, s'est placé dans des conditions analogues à celles de Hall, c'est-à-dire en employant des pressions mécaniques qui, dans ces dernières expériences, ont été portées jusqu'à 1,000 kilogrammes par centimètre carré.

M. Joannis a cherché à obtenir la fusion du carbonate de chaux sans l'intervention de ces pressions mécaniques, par l'action seule de la chaleur, mais en présence d'une tension d'acide carbonique suffisante pour limiter la décomposition. Ses premières expériences ont montré que l'on pouvait notablement dépasser les températures où Hall avait réussi, sans obtenir, dans ces conditions différentes, la fusion du carbonate de chaux. Ainsi, dans une expérience où l'on atteignit le point de fusion de l'or, la pression de l'acide carbonique fut de 9 atmosphères, et le carbonate n'était nullement aggloméré. A une température supérieure, où la pression du gaz atteignit 17 atmosphères, le carbonate précipité fut transformé en une craie friable; enfin, à 22 atmosphères on obtint une craie avec laquelle il était possible d'écrire et qui présentait des agglomérations de cristaux lorsqu'on l'observait au microscope. Il résulte de ces expériences : 1° que les pressions mécaniques employées par Hall et par M. Lechatelier sont absolument indispensables pour obtenir du marbre aux températures auxquelles ils ont opéré; 2° qu'il est possible d'obtenir cependant le carbonate fondu ou du moins des cristaux assez agglomérés pour être polis et taillés en lames minces sans ces pressions, mais à des températures plus élevées. M. Joannis se propose de continuer ses recherches par des procédés un peu différents, de façon à pouvoir maintenir plus longtemps le carbonate de chaux à ces hautes températures et sous ces fortes pressions.

**Séance du 8 décembre 1892.** — M. Joannis présente à la Société des échantillons de craie au milieu desquels se trouve un noyau fondu. Ce noyau, examiné au microscope, montre un aspect nettement saccharoïde; un éclat de cette matière a pu être taillé en lame mince; examinée à la lumière polarisée, cette lame transparente présente les couleurs des lames cristallines minces. M. Joannis présente aussi à la Société des photographies de cette lame, exécutées avec beaucoup d'habileté par M. Chavasteton.

— M. Devaux communique à la Société une remarque sur une

Digitized by Google

relation entre la compressibilité et la tension superficielle des liquides.

Guidé par des considérations théoriques, M. Devaux a été amené à chercher une relation entre le coefficient $\beta$ de compressibilité et la tension superficielle F des liquides. Si l'on prend pour unités le gramme et le centimètre, il trouve que le produit $\beta F$ de la compressibilité par la tension superficielle est un nombre de l'ordre de grandeur des distances moléculaires. Pour l'eau, ce produit donne $3{,}8 \,.\, 10^{-9}$. MM. Lippmann et Thomson donnent respectivement $3 \,.\, 10^{-9}$ et $3{,}5 \,.\, 10^{-9}$ comme valeurs de la distance moléculaire.

Les autres liquides donnent des valeurs très voisines quoique non identiques. Si l'on multiplie chaque valeur trouvée par la distance moléculaire relative (racine cubique du volume moléculaire calculé en comparant les densités à l'état gazeux et à l'état liquide), on trouve des nombres en général assez voisins les uns des autres, de sorte que l'on peut écrire :

$$\beta F \delta = \text{constante},$$

en appelant $\delta$ la distance moléculaire relative.

M. Devaux montre, par divers exemples, comment, en partant de cette formule, on peut calculer approximativement le coefficient de compressibilité d'un liquide pour lequel on connaît la tension superficielle et la distance moléculaire relative.

Plusieurs membres présentent quelques observations à la communication de M. Devaux.

— M. Goguel communique à la Société des échantillons d'arséniate de plomb qu'il a obtenus, et en fait la description minéralogique.

**Séance du 22 décembre 1892.** — M. Soulé fait une communication sur les *multiples interposés*.

En cherchant à déterminer le nombre total des solutions de l'équation $ax + by + cz = n$, j'ai été conduit à étudier la question suivante : On a deux équidifférences A et B, de raisons $a$ et $b$, $a$ étant $< b$, B partant de zéro ; y a-t-il une loi qui donne les quotités de multiples de $a$ par rapport à ceux de $b$, c'est-à-dire le nombre des multiples de $a$ qui sont compris entre les multiples successifs de $b$?

Digitized by Google

Ainsi, pour $a=3$ et $b=7$ :

| | |
|---|---|
| A | 0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 |
| B | 0 7 14 21 28 35 42 |
| Quotités | 3 2 2 3 2 2 |

| | |
|---|---|
| A | 2 5 8 11 14 17 20 23 26 29 32 35 38 |
| B | 0 7 14 21 28 35 42 |
| Quotités | 2 2 3 2 2 2 |

Deux cas peuvent se présenter, suivant que A part de zéro ou bien d'un nombre de 1 à $a-1$ ; ces deux cas comprennent tous les autres.

1° *Point de départ zéro pour* A.

Cette question revient à résoudre l'équation $ax=by$. On voit qu'il y a périodicité de $a$ en $a$ termes. Soit $b=aq+r$ et faisons varier $b$ de $aq$ à $a(q+1)-1$ ou bien $r$ de 0 à $a-1$. Il suffira d'établir chacune des premières séries périodiques pour les multiples de $a$ par rapport à ceux de $a+r$, en ajoutant ensuite à chaque terme de chaque série le nombre $q-1$ pour les quotités de $a$ par rapport à $aq+r$. Ainsi, de la formation de ces $a$ séries en carré propres à un nombre $a$, on passera facilement aux séries par rapport à un nombre quelconque $b$.

La série $(r=0)$ est 1 1 1 1 ... 1 ($a$ termes).

La série $(r=a)$ est 2 2 2 2 ... 2 id.

Les séries intermédiaires ne contiendront que les termes 1 et 2.

Lorsque l'on passe de la série $(r)$ à la série $(r+1)$, il s'introduit une unité de plus, il y aura donc dans $(r)$ le terme $2\ r$ fois. La disposition de ces termes 2 s'obtient ainsi : Sauf pour $r=0$, le premier terme de chaque série est 2, $a$ étant $<a+r$. Le rang du deuxième terme 2 est donné par l'expression $E\left(\frac{a}{r}\right)$ augmentée de 1 à cause de l'origine 0 de B. Le rang des 3[e], 4[e], $r^e$ termes 2 sera $E\left(\frac{2a}{r}\right)+1$, $E\left(\frac{3a}{r}\right)+1$, ... $E\left(\frac{r-1}{r}a\right)+1$. Le dernier terme de chaque série sera toujours 1.

Si l'on veut, par exemple, connaître les séries des quotités du nombre 6 par rapport aux nombres de 54 à 59, on formera d'abord

Digitized by Google

les séries pour 6 par rapport à $6+r$, puis celles de 6 par rapport à $6.9+r$.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 6 | 1 1 1 1 1 1 | | 6 | 54 | 8 8 8 8 8 8 |
| | 7 | 2 1 1 1 1 1 | | | 55 | 9 8 8 8 8 8 |
| | 8 | 2 1 1 2 1 1 | | | 56 | 9 8 8 9 8 8 |
| | 9 | 2 1 2 1 2 1 | | | 57 | 9 8 9 8 9 8 |
| | 10 | 2 2 1 2 2 1 | | | 58 | 9 9 8 9 9 8 |
| | 11 | 2 2 2 2 2 1 | | | 59 | 9 9 9 9 9 8 |

Ce qui justifie la dénomination : *Loi des séries en carré des multiples interposés.*

2° *Points de départ pour* A *depuis* $m=1$ *jusqu'à* $m=a-1$.

Il y a lieu de rappeler ici les lemmes suivants :

*Lemme I.* — Étant donnés deux nombres quelconques $a$ et $b$, premiers entre eux, il existe deux autres nombres $\alpha$ et $\beta$ liés par la relation $a\alpha-b\beta=-1$ qui jouent en analyse un rôle assez important, en particulier dans la théorie de la partition des nombres et que j'appellerai les *partitifs* de $a$ et de $b$. Ils figurent dans la résolution de l'équation $px+qy+\ldots+tu=n$ à laquelle Euler et Jacobi ont appliqué les fractions continues. L'avant-dernière réduite de la fraction continue équivalente à $\frac{b}{a}$ étant $\frac{b_1}{a_1}$, on a $ab_1-ba_1=\pm 1$. Pour le signe $+$, les partitifs sont égaux, $\alpha$ à $b-b_1$ et $\beta$ à $a-a_1$. Pour le signe $-$, $\alpha=b_1$ et $\beta=a_1$

*Lemme II.* — L'équation $ax-by=1$ a pour l'une de ses solutions en nombres entiers les valeurs $b-\alpha$ et $a-\beta$ qui paraissent, pour le but proposé, présenter plus d'avantages que la solution par intervalles de Poinsot, quant à la méthode à suivre.

*Lemme III.* — L'équation $ax-by=m$ se résout en multipliant par $m$ les valeurs ci-dessus.

*Lemme IV.* — Ayant obtenu un groupe de solutions entières pour $x$ et $y$, on aura le groupe minimum positif en ajoutant ou retranchant $b\gamma$ pour $x$ et inversement $a\gamma$ pour $y$, $\gamma$ étant le facteur suffisant pour avoir ce minimum.

Cela posé, l'équidistance A commençant par $m$, quelle sera la série des quotités pour $a+r$ et, par suite, pour $b=aq+r$?

Il faut chercher dans B le rang du terme qui coïncide avec un terme de A diminué de $m$, autrement dit résoudre l'équation $ax-by=m$, $y$ désignant, après avoir été augmenté d'une unité, le

Digitized by Google

rang où, dans la série ($m=0$) supposée calculée, commencera la série ($m$) qui s'en déduira par une simple permutation tournante.

On résout d'abord l'équation $ax-by=1$ au moyen des partitifs $\alpha$ et $\beta$, pour la plus petite valeur positive de $y$. On multiplie ensuite cette valeur par $m$, on la réduit à son minimum positif par $a\gamma$ et on a le rang cherché.

Si le multiple donne M$a$ de $a=bq'$, le nombre total des quotités sera égal à $q'$ augmenté de 1. Il pourra y avoir un certain nombre de séries terminées par une série incomplète. Le dernier terme sera donné par le nombre des multiples de $a$ augmentés de $m$ qui se trouvent depuis le dernier multiple de $b$.

L'exemple suivant éclaircira la question.

Quelle est par rapport aux multiples de 46 la suite des quotités pour le nombre 558, multiple de 7 augmenté de 5?

$$46=7.6+4 \qquad q=6 \qquad a+r=7+4=11.$$

Formons la série ($m=0$). Elle a 7 termes dont 4 égaux à 2 et dont les rangs dans la série sont donnés par l'expression $E\left(\frac{7k}{4}\right)+1$, savoir 1, 2, 4, 6.

Ainsi la série ($m=0$) $=$ 2212121.

$\frac{b_1}{a_1}$ étant égal à $\frac{3}{2}$, $7.3-11.2=-1$. D'où $\beta=2$ et $y_1=7-2=5$. Ainsi pour la série ($m=1$), le premier terme sera au rang $5+1$. Multiplions 5 par $m=5$, soit 25, $a\gamma$ sera égal à 7.3 et $25-21=4$.

La série ($m=5$) commencera donc au rang $4+1$ ou 5.

On a $558=46.12+6$. Il y aura donc en tout treize termes. Le dernier multiple de 46 étant 552, comme il n'y a à partir de ce nombre qu'un multiple de 7 augmenté de 5,558, le dernier terme sera égal à 1.

Il vient donc pour $q=6$, en partant du rang 5 :

| | |
|---|---|
| Nombre | 558 |
| Quotités | 6767767.676771. |

Cette proposition des *multiples interposés* s'applique immédiatement dans la recherche du nombre total des groupes de solutions de l'équation $ax+by+cz=n$.

— M. Brunel fait ensuite une communication sur les fonctions symétriques des racines d'une équation algébrique.

Digitized by Google

Si l'on désigne par $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ les racines de l'équation

$$x^n + a_1 x^{n-1} + a_2 x^{n-2} + \ldots + a_n = 0,$$

on sait que l'on peut exprimer une fonction symétrique quelconque des racines $\alpha$ en fonction des coefficients $a$, et que, inversement, les coefficients $a$ peuvent être exprimés en fonction des fonctions symétriques.

Les relations qui existent ainsi entre les fonctions symétriques et les coefficients peuvent être mises sous une forme tabulaire, et l'on possède actuellement de tels tableaux depuis $n=2$ jusqu'à $n=14$. Ces tableaux ont été publiés successivement par Vandermonde, Hirsch, Cayley, Faa de Bruno, Durfee, Rovorosky et Mac-Mahon.

On convient de représenter la fonction symétrique

$$\sum \alpha_1^{\lambda_1} \alpha_2^{\lambda_2} \alpha_3^{\lambda_3} \ldots$$

par le symbole

$$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \ldots),$$

où l'on a

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \ldots = n.$$

On peut toujours supposer que les nombres $\lambda$ sont arrangés en sorte que $\lambda_{i+1}$ soit plus petit ou au plus égal à $\lambda_i$.

Mais, même dans ces conditions, l'ensemble des partitions du nombre $n$ ne forme pas une suite déterminée, et on peut donner des arrangements différents de leur ensemble suivant le point de vue auquel on se place. Les tableaux de fonctions symétriques publiés jusqu'ici présentent des dispositions variées et se prêtent à des déformations plus nombreuses encore. Un arrangement convenable peut mettre en évidence des relations remarquables entre certains coefficients; un autre arrangement où ces relations ne seraient plus visibles pourrait cependant présenter d'autres avantages.

C'est ainsi, en particulier, que si on dispose le tableau en sorte que toutes les fonctions symétriques représentées par le symbole $(2^\rho 1^\sigma)$ soient voisines l'une de l'autre, et se suivent de manière que $\rho$ prenne successivement toutes les valeurs 0, 1, 2, ..., le tableau relatif à ces fonctions symétriques pour le degré $n$ se reproduit en partie dans les tableaux correspondant aux degrés $n-2$, $n-4$, ... et en totalité dans les tableaux correspondant aux degrés $n+2$,

Digitized by Google

$n+4$, .... On est ainsi conduit à chercher l'expression générale de $(2^{\rho}1^{\sigma})$ qui se présente sous la forme simple :

$$\left\{\begin{array}{l}(2^{\rho}1^{\sigma})=\sum_{p=0}^{p=\rho}(-1)^{\rho+\sigma-p}\\ \dfrac{(\rho-p+1)(\rho-p+2)\dots(\rho-p+\sigma-2)}{(\sigma-1)\;!}(2\rho-2p+\sigma-1)a_{2\rho+\sigma-p}a_{p};\end{array}\right.$$

Le tableau des coefficients relatifs aux fonctions $(2^{\rho}1^{\sigma})$ où $2\rho+\sigma=n$ se reproduit dans le tableau relatif au degré $n+3$ pour les fonctions $(3\,2^{\rho}1^{\sigma})$, et ainsi de suite.

On a ainsi une série illimitée de propositions de même nature, mais se rapportant à une disposition particulière des tableaux.

Pour donner un autre exemple, nous signalerons les relations qui existent entre les coefficients qui se présentent dans l'expression en fonction des coefficients des fonctions symétriques suivantes :

$$(2\,1^{n-2}),\ (3\,1^{n-3}),\ \dots\ (\overline{n-1}.\ 1),\ (n),$$

qui présentent tout un ensemble de singularités des plus remarquables.

**Séance du 12 janvier 1893.** — M. Hautreux fait une communication sur *les Glaces de l'Atlantique et le climat de Bordeaux en 1892.*

Les glaces ne sont arrivées sur le banc de Terre-Neuve qu'au mois d'avril, elles y ont été nombreuses en mai et juin, et ont disparu à la fin de juillet. La période glaciaire a été courte, mais abondante. Aucun mouvement glaciaire important n'a été signalé cet hiver dans les parages de Labrador. Sauf renseignements ultérieurs, les glaces seront encore tardives sur le banc en 1893.

Pendant l'année 1892, les mois de février et d'octobre ont été très humides; les mois de mai et juin très secs.

L'hiver 1891-1892 a été doux, il n'y a eu que trente-trois jours de gelée.

L'hiver 1892-1893 semble devoir être aussi doux.

Les relations déjà signalées dans les années précédentes entre l'état glaciaire de l'Atlantique et le climat de Bordeaux semblent se vérifier encore cette année : ainsi les glaces n'étant pas arrivées en février, à l'époque habituelle, nous avons eu excès d'humidité. Elles arrivent nombreuses en mai et juin, il y a à Bordeaux grande

Digitized by Google

sécheresse. Elles disparaissent de bonne heure fin de juillet, les mois de juillet et d'août sont ici chauds et un peu humides.

Enfin, les glaces n'étant pas signalées encore cet hiver sur les côtes du Labrador et devant arriver tardivement sur le banc, notre hiver commence tard et ne sera probablement pas bien long, Analogue à celui de l'année 1891-1892.

— M. Hautreux fait hommage à la Société d'une suite de huit cartes météorologiques se rapportant à un cyclone qui a régné, du 21 au 28 novembre 1888, près des côtes des États-Unis.

Les données qui ont servi à dresser ces cartes ont été extraites, par le service hydrographique de Washington, des observations de plus de cent navires, qui se sont trouvés dans le cercle d'action.

Ce cyclone a pris naissance le 21 novembre 1888, pression 711$^{mm}$, à 250 milles au sud des Bermudes; il s'est déplacé lentement vers le Nord et s'est dissipé le 28 novembre 1888, pression 754$^{mm}$, aux environs d'Halifax; il a causé la perte de quarante-cinq navires. Il s'est maintenu près de la limite qui sépare les eaux chaudes du Gulf-Stream des eaux froides de la côte américaine.

La région des vents de tempête, de même que la région des pluies, s'est maintenue dans l'ouest du centre de dépression, vers le côté américain, vers les eaux froides.

La neige et la grêle se sont produites en dehors et au nord des vents violents.

Le trajet général du cyclone a été absolument contraire à la direction des vents violents qui l'ont alimenté.

Le demi cercle dangereux n'a repris sa position habituelle, au sud et à l'est du centre, que dans la dernière journée du coup de vent.

— M. Brunel fait à la Société une communication sur quelques problèmes d'*Analysis Situs*.

Si l'on considère un réseau, il y a lieu d'y désigner des points et des lignes ou, si l'on veut, des sommets et des arêtes. Un réseau est dit connexe lorsqu'on peut aller d'un de ses sommets à un quelconque des autres sommets en suivant des arêtes du réseau.

Au point de vue topologique, où l'on se place ici, le réseau se trouvera complètement défini si l'on indique d'une façon précise quel est le nombre des sommets du réseau, et quelles sont les lignes de jonction qui relient ces sommets. Cela se fait de la façon la plus simple comme il suit. En désignant par $n$ le nombre des sommets, on forme un tableau à double entrée formé de $n$ lignes et de $n$ colonnes. Si le point d'indice $p$ est relié au point d'indice $q$

Digitized by Google

par une arête, on insère dans la $p^{ième}$ ligne et dans la $q^{ième}$ colonne le symbole $(pq)$ ou plus simplement $pq$, et dans la $q^{ième}$ ligne et la $p^{ième}$ colonne le symbole $(qp)$ ou $qp$. Si les deux points $p$ et $q$ étaient reliés par plus d'une arête, on aurait recours à un symbole à plusieurs termes $(pq)_1 + (pq)_2 + \dots (pq)_\rho$ où chaque terme correspond à l'une des arêtes de liaison. Il n'y aura lieu dans ce qui suit de considérer que le cas le plus simple où l'on n'a jamais affaire à un symbole multiple. Une case vide indiquera l'absence de liaison.

Un réseau étant donné, il est facile de former le tableau dont il vient d'être parlé. Inversement, le tableau en question définit complètement le réseau au point de vue topologique. Nous supposons que l'on considère les arêtes comme déformables à volonté, nous supposons, de plus, que les arêtes sont *immatérielles*, c'est-à-dire qu'elles peuvent se traverser réciproquement; dans une autre partie de l'*Analysis Situs*, on regardait les arêtes comme déformables à volonté, mais cette fois comme *matérielles*, par exemple, dans la théorie des nœuds.

C'est ainsi, par exemple, que l'on pourra représenter un tétraèdre par le tableau suivant :

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | 12 | 13 | 14 |
| 2 | 21 | | 23 | 24 |
| 3 | 31 | 32 | | 34 |
| 4 | 41 | 42 | 43 | |

et inversement ce tableau représentera un tétraèdre ou une déformation quelconque du tétraèdre.

Supposons qu'il n'existe aucune arête reliant un sommet à lui-même, ce que nous exprimerons en disant qu'il n'y a pas d'auto-liaison; en attribuant dès lors au symbole 12 une valeur quelconque et au symbole 21 la même valeur, mais prise avec le signe contraire, le tableau relatif à un réseau sans auto-liaison où l'on fait abstraction de la ligne limite supérieure et de la première colonne à gauche est un déterminant symétrique gauche.

Si le nombre des sommets est pair, le déterminant symétrique gauche est un carré parfait, et il est facile de voir la signification

Digitized by Google

topologique des termes qui figurent dans l'expression dont le carré fournit la valeur du déterminant. Chacun des sommets figure dans l'un des symboles qui constituent par leur produit un de ces termes, et chacun d'eux y figure une fois seulement. Par suite, dans le développement d'un déterminant symétrique gauche relatif à un réseau, les termes qui ne contiennent le carré d'aucun symbole correspondront à des contours passant par tous les sommets. Chacun des contours simples qui se trouve dans un ensemble de contours correspondant à un terme du développement passe par un nombre pair de sommets.

Inversement, un contour ou un ensemble de contours comprenant tous les sommets du réseau, apparaît nécessairement dans le développement du déterminant pourvu que les contours contiennent tous un nombre pair de sommets.

On se trouve donc amené ainsi à la solution du problème suivant :

Étant donné un réseau, déterminer les trajets fermés que l'on doit suivre en n'employant que ses arêtes et tels que l'on passe par chacun des sommets, le trajet unique ou les trajets partiels dont l'ensemble satisfait à la question comprenant tous un nombre pair de sommets.

Par exemple, le développement du déterminant relatif au tétraèdre est fourni par l'expression suivante (où le signe + est simplement un symbole de séparation des termes) :

$$(12.\ 34 + 13.\ 24 + 14.\ 23)^2$$

qui, si l'on néglige les termes qui contiennent un carré, ne fournit que trois termes que l'on peut écrire :

12. 23. 34. 41
13. 34. 42. 21
14. 42. 23. 31

On obtient ainsi les trois contours passant par les quatre sommets du tétraèdre.

M. Brunel a appliqué le procédé indiqué ici à l'*Icosian Game* et a retrouvé ainsi les résultats connus dus à Hamilton.

Il remarque que l'on obtient ainsi la solution théorique complète du problème du saut du cavalier sur l'échiquier. Numérotant les cases de 1 à 64, il suffit de former le tableau des liaisons qui existent entre ces cases, deux cases étant considérées comme reliées lorsque l'on peut passer de l'une à l'autre par un saut du cavalier. Le développement du déterminant symétrique gauche

Digitized by Google

ainsi obtenu dans tous les trajets du cavalier pour lesquels un seul trajet ou un ensemble de trajets partiels constituant un trajet total passe par toutes les cases.

La question de la détermination d'un trajet partant d'une case, passant par toutes les autres cases pour aboutir en un point donné, se résout théoriquement d'une façon aussi simple. Il suffit de représenter dans le tableau du réseau que nous considérons ici une liaison entre la case initiale et la case finale, et de prendre dans le développement les termes qui correspondent à un trajet fermé comprenant la liaison qui a été ainsi introduite.

Une autre application non moins intéressante est celle relative à la coloration des cartes géographiques avec quatre couleurs. On sait, en effet, qu'il suffit de considérer la question dans le cas où partent de chaque sommet du réseau de frontières trois lignes frontières seulement. On est alors nécessairement dans le cas d'un nombre pair de sommets. La question se ramène ensuite à la suivante : affecter les arêtes de trois indices différents O, I et II, en sorte que les trois arêtes qui aboutissent à un sommet offrent les trois indices distincts. Dès lors, si l'on considère l'ensemble des arêtes affectées de deux des indices, O et I par exemple, cet ensemble constitue un trajet ou un ensemble de trajets passant par tous les sommets, et de la nature même de ceux qui ont été examinés précédemment.

Le procédé indiqué plus haut permet donc de numéroter les lignes frontières d'une carte géographique, modifiée de manière à ne présenter que des sommets trilatéraux, comme il le faut pour en déduire immédiatement sa coloration avec quatre couleurs.

La méthode conduit à toutes les colorations possibles comme pour le problème du saut du cavalier généralisé.

M. Brunel termine en remarquant que l'emploi des déterminants symétriques gauches qui l'a conduit à la solution des questions précédentes, n'est pas du tout indispensable. On peut facilement se débarrasser maintenant de la considération de ces déterminants et arriver par l'emploi d'une marche déterminée, sans aucun *tâtonnement,* à la résolution de toute une série de problèmes dont on vient de voir quelques exemples.

**Séance du 26 janvier 1893.** — M. le Président fait part à la Société de la perte douloureuse que vient d'éprouver la Société en la personne de son vice-président, M. le commandant Soulé; il rappelle en quelques mots les mérites de cet homme de cœur,

Digitized by Google

dévoué à tout ce qui est juste, passionné pour tout ce qui est noble; doué du désir infatigable de bien faire, désireux de contribuer pour sa part au progrès de la science, il travaillait avec ardeur; il nous a été enlevé beaucoup trop tôt.

— M. Blarez présente une note sur les vins mannités.

Depuis quelque temps, l'attention a été attirée par la présence de la mannite dans les vins, plus particulièrement depuis une communication que M. Carles fit à l'Académie des Sciences [1], dans laquelle notre distingué collègue indiquait la présence de la mannite comme étant la caractéristique du vin de figues. On a déclaré par la suite que cette substance pouvait exister normalement dans des vins algériens provenant de la fermentation du raisin seul. D'un autre côté, on a reconnu que la mannite se produisait dans toutes les fermentations alcooliques, lorsque à côté des levures existaient des ferments spéciaux mannitiques.

Cette note a précisément pour objet de corroborer cette opinion. Nous avons eu occasion d'examiner dans ces derniers temps trois échantillons de vins rouges provenant de la récolte de 1892, d'une localité voisine de Bordeaux. Les vignes qui ont produit ces vins sont jeunes, il s'agit d'un vignoble reconstitué et planté en cabernet franc et sauvignon, et dont les fruits n'ont pour ainsi dire pas souffert, du moins d'une façon apparente, du *siroco* ou des vents brûlants des 15 et 16 août.

La fermentation des raisins s'est faite assez mal, notamment dans une cuve que nous désignons par A. A l'écoulage général le vin de cette cuve a été mis à part. Les autres cuves ont donné un vin que nous désignons par B. Enfin, tous les marcs ont été pressés et ont fourni un vin de presse que nous désignons par C. Dans le tableau des analyses qui suit, nous joignons sous la dénomination D la composition du vin de la même propriété de l'année 1891.

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| Densité à 15° | 1.0032 | 0.9982 | 1.0018 | 0.9985 |
| Alcool (°/₀ en volume) | 9°8 | 10°9 | 10°40 | 10° |
| Acidité totale (en $SO^4H^2$) | 8gr. | 5gr30 | 6gr10 | 4gr25 |
| Acidité due aux acides volatils (en $SO^4H^2$) | 4gr20 | pet. quant. | 1 80 | » |
| Extrait sec à 100° | 36 70 | 29gr45 | 34 50 | 24gr80 |
| Crème de tartre | 2 » | 1 95 | 1 90 | 3 76 |
| Sucre réducteur (dosé au Fehling) | 2 12 | 1 54 | 2 » | 3 60 |

(1) *C. R.*, 1891, t. CXII, p. 811.

Ces résultats sont loin d'être normaux. L'excès de produits extractifs est dû à de la mannite. En effet, si on évapore 20 centimètres cubes de ces vins en consistance sirupeuse, et si on abandonne au froid, on voit qu'il se forme des mamelons cristallins, comme dans les vins mannités, soit naturellement, soit dans ceux additionnés directement de mannite. Dans les vins non sucrés, et par des temps froids, on peut reconnaître très aisément, par ce procédé très simple, un vin mannité dès qu'il renferme 5 à 6 grammes de cette substance par litre.

Pour extraire la mannite, nous avons évaporé 50 centimètres cubes de vin. Après deux jours de repos, le résidu cristallin a été épuisé par de l'alcool à 65 degrés centésimaux et à froid, de façon à enlever : la glycérine, l'acide succinique et les acides organiques libres, le tannin, les matières colorantes et la majeure partie du sucre incristallisable. Le résidu insoluble a été épuisé à nouveau par de l'alcool au même titre bouillant, pour dissoudre la mannite et laisser la majeure partie de la crème de tartre et des gommes. Cet alcool a donné par évaporation de la mannite impure : par ce procédé de traitement les vins rouges normaux n'abandonnent à l'alcool bouillant, après épuisement à froid, que fort peu de matières solubles; le vin A a donné : 16 grammes par litre; le vin B : 8 grammes; le vin C : 13 grammes.

Il n'y a donc pas que les vins algériens qui puissent contenir de la mannite; les vins français eux-mêmes peuvent en renfermer dans certaines conditions; ceux-ci avaient été faits avec une addition d'une petite quantité de sucre cristallisé blanc à la vendange, dans le but d'accroître le degré alcoolique. Cette pratique, fréquente dans un grand nombre de pays vinicoles, et assez répandue dans la Gironde, n'avait jamais jusqu'ici donné lieu à une constatation semblable.

Ajoutons que les vins dont nous parlons sont très chargés de ferments des plus divers et que leur acidité totale, dont la majoration est due à des acides volatils, est très élevée, pour ainsi dire en rapport avec la teneur en mannite.

On a donné, comme caractéristique des vins mannités, l'augmentation brusque du pouvoir rotatoire des dits vins lorsqu'on les additionnait de borate de soude. Ce fait est exact, mais il n'est pas caractéristique pour la mannite, car le borax influe sur le pouvoir rotatoire de presque tous les sucres. Il diminue, en effet, les pouvoirs rotatoires lévogyre des solutions de lévulose ou dextrogyre de celles de glucose, et rend presque nulle, au bout d'un certain temps, la déviation lévogyre du sucre interverti.

Digitized by Google

Par conséquent, le fait de la brusque diminution dans la déviation lévogyre d'un vin additionné de borax, ou de l'augmentation de déviation dextrogyre, n'implique pas forcément la présence de la mannite, à moins que le dit vin ne renferme pas de sucres réducteurs.

Nous reviendrons sur ce sujet dans une autre communication.

— M. Gayon rappelle que dans la séance du 28 juillet M. Roos, après avoir signalé la présence de la mannite dans les vins algériens, a insisté sur ce fait de la présence dans ces vins de micro-organismes avec lesquels il a pu reproduire la fermentation mannitique.

— M. Blarez déclare que jusqu'ici il n'est arrivé qu'à des résultats incomplets relativement à la reproduction de la mannite par auto-culture.

— M. Baysselance signale un fait qui peut être en relation avec les précédents : En Grèce, les vignes qui poussent au niveau de la mer donnent des vins qui, ne pouvant subir une bonne fermentation, sont exploités comme raisins secs; seuls les raisins venus sur les hauteurs sont propres à la fabrication du vin.

— M. Aignan présente le travail suivant fait en collaboration avec M. P. Chabot, sur la distillation des dissolutions d'acide acétique et d'eau et sur la variation du titre de ces liqueurs au cours de la rectification.

En étudiant certains produits industriels, MM. Aignan et Chabot ont été conduits à examiner avec soin la rectification des dissolutions d'acide acétique dans l'eau et à rechercher une formule permettant de déduire la quantité d'acide que renferme encore la cornue à un moment donné de la distillation, connaissant le volume V de liqueur restant dans l'alambic, le volume initial $V_0$ et le titre correspondant $A_0$ de la dissolution traitée.

Parmi les particularités que ces rectifications ont présentées, il faut signaler les suivantes :

1° La température de la vapeur qui distille reste invariable et voisine de 100° quelle que soit la composition du liquide condensé, au moins entre 0 et 5 équivalents d'acide par litre. On aurait pu s'attendre à voir distiller un mélange de composition invariable tant que la température de la vapeur émise à l'ébullition restait constante, il n'en est pas ainsi; les résultats obtenus sont conformes cependant aux indications des mesures de Konovalow sur les tensions maxima des dissolutions d'acide acétique.

2° Pour des liqueurs peu concentrées, jusqu'à deux ou trois

Digitized by Google

équivalents d'acide par litre, le titre des liqueurs distillées est très sensiblement le même, que l'on emploie comme appareil distillatoire un simple ballon muni d'un tube de dégagement, que l'on surmonte le ballon d'un tube à boules de Würtz ou d'un tube Lebel-Henninger à cinq boules et à paniers de platine. L'écart est encore petit quand on rectifie dans ces appareils très différents une dissolution à cinq équivalents d'acide, c'est-à-dire une liqueur renfermant 30 grammes d'acide acétique sur 100 centimètres cubes.

3° Si l'on sature de sel marin la dissolution d'acide acétique soumise à la rectification, on augmente considérablement le titre des produits qui passent tout d'abord. En opérant sur des liqueurs renfermant de *un* à *cinq* équivalents d'acide par litre, lorsqu'on a distillé la moitié du volume du liquide mis dans l'alambic, on obtient environ les $\frac{3}{8}$ de l'acide total si la dissolution ne contient pas de sel, et les $\frac{6}{8}$ de l'acide total si la liqueur a été préalablement saturée de sel marin.

Des expériences analogues ont été faites avec le chlorure de potassium, le chlorure de calcium, le sulfate neutre de potasse.

Pour déterminer la quantité P d'acide que renferme le volume V de liqueur restant dans l'alambic, MM. Aignan et Chabot remarquent qu'il suffirait d'établir la relation $f(a, \mathrm{A})=0$ qui existe entre le titre A de la dissolution chauffée et le titre $a$ de la vapeur qu'elle émet. Il est aisé de démontrer, en effet, que cette relation n'est autre chose que l'équation différentielle

$$f\left(\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial \mathrm{V}}, \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{V}}\right)=0,$$

qui, intégrée, doit résoudre la question.

Afin de déterminer la relation $f(a, \mathrm{A})=0$, la méthode suivante est proposée :

1° On fractionne le liquide distillé par volumes $v$ assez petits pour que le titre moyen $a$ puisse être considéré comme étant le titre de la vapeur à l'instant où achève de distiller la première moitié $\frac{\mathrm{V}}{2}$ du volume $v$ considéré. On obtiendra ainsi une série de valeurs de $a$, titres de la vapeur émise aux instants successifs où achèvent de distiller les volumes $\frac{v}{2}, \frac{3v}{2}, \ldots, \frac{(2n+1)v}{2}$.

Digitized by Google

2° Connaissant le volume initial $V_0$ de la liqueur soumise à l'expérience et son titre initial $A_0$, il est aisé de calculer le titre A de la liqueur restant dans le ballon quand on achève de recueillir chacune des prises de volume $v$ et le titre moyen $a$. On aura

$$A = \frac{A_0 V_0 - \Sigma av}{V_0 - \Sigma v}.$$

La formule empirique ou la courbe qui représente ces diverses valeurs de A permet d'avoir les valeurs du titre de la liqueur, qui émettait les vapeurs de titre $a$ précédemment déterminées par l'expérience.

3° Enfin, reliant par une formule empirique les valeurs correspondantes de $a$ et de A, on a l'équation cherchée $f(a, A) = 0$ ou $f\left(\frac{\partial P}{\partial V}, \frac{P}{V}\right) = 0$.

Opérant sur une liqueur à deux équivalents d'acide acétique par litre, MM. Aignan et Chabot ont constaté que l'équation prend la forme très simple

$$\frac{\partial P}{\partial V} = n\frac{P}{V} \quad \text{avec } n = \frac{71}{101}.$$

En langage ordinaire : *le titre de la vapeur est proportionnel au titre du liquide qui l'émet.*

Cette équation, qui s'intègre aisément, donne pour le titre cherché A du volume V de liqueur restant dans l'alambic :

$$A = A_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{n-1}$$

et pour le titre de la vapeur émise à chaque instant :

$$a = nA.$$

Le tableau des expériences, comprenant 21 valeurs de A et 10 valeurs de $a$, présente une concordance parfaite entre les nombres trouvés expérimentalement et les nombres calculés par ces formules. Des mesures effectuées sur des liqueurs renfermant de $\frac{1}{2}$ à 5 équivalents d'acide par litre semblent confirmer, dans le cas actuel, l'exactitude des équations établies pour la liqueur à deux équivalents.



Digitized by Google

Les auteurs se proposent d'étendre ces recherches : 1° aux mélanges d'alcool et d'eau ; 2° aux mélanges de térébenthine avec les dissolvants neutres ; 3° aux mélanges des bases ou des acides volatils avec l'eau.

— M. Denigès présente à la Société les échantillons de lactose qu'il a retirés par cristallisation des laits de femme, ânesse, jument, vache, chèvre et brebis. Ces lactoses sont identiques, tant par leurs constantes physiques que par leurs propriétés chimiques.

Il profite de cette présentation pour faire un résumé d'un travail qu'il vient de publier sur l'identification des lactoses des différents laits, et dont il offre un exemplaire à la Société.

Il montre que l'identité des sucres des différents laits indiqués plus haut n'est pas due à l'unification des propriétés de ces sucres par le phénomène physique de la cristallisation, mais qu'elle se retrouve dans ces laits eux-mêmes.

Enfin, il explique les anomalies optiques présentées constamment par les sérums des laits de femme et d'ânesse, quelquefois par le sérum du lait de jument, par l'existence dans ces laits de deux substances non signalées jusqu'ici, très solubles dans l'eau, non précipitables par les réactifs des albuminoïdes, sans pouvoir réducteur, mais actives sur la lumière polarisée ; l'une dextrogyre (laits d'ânesse et de jument), l'autre lévogyre (lait de femme) et dont il continue l'étude.

**Séance du 9 février 1893.** — M. Blarez est élu vice-président en remplacement de M. Soulé, décédé.

— M. Carles fait une communication à propos des vins mannités.

MM. Gayon et Blarez présentent quelques observations au sujet de cette communication.

— MM. Gayon et Laborde exposent les résultats qu'ils ont obtenus dans la culture d'un bacille, différent du *Mycoderma aceti*, qui a la propriété, comme ce dernier, de transformer les vins et la bière en vinaigre, mais qui brûle aussitôt, et avec une grande énergie, l'acide acétique formé. Le développement accidentel de ce microbe dans les vinaigreries cause parfois de graves mécomptes aux industriels.

— M. Brunel fait à la Société une communication sur la représentation graphique de la benzine.

Après quelques considérations générales sur le mode de représentation au moyen de réseaux des relations qui existent entre une

Digitized by Google

série donnée d'objets, d'êtres ou d'idées que l'on convient de représenter par des points, le mode de liaison (supposé unique dans le cas présent) trouvant alors sa représentation la plus simple dans l'emploi de lignes qui joignent ces points.

Lorsque le réseau comprend des points d'où partent $p$ lignes de jonction, on dit que le point correspond à un être, à un objet, à une idée $p$-atomique. Si dans un réseau complet on supprime par la pensée une série de points avec les lignes qui en partent, les sommets qui subsistent dans le réseau n'ont plus toutes leurs lignes de jonction occupées. On dit alors que ces sommets ont des valences libres. La valence totale du réseau incomplet est égale à la somme des valences des différents sommets.

M. Brunel rappelle les différentes représentations graphiques que l'on a employées pour la benzine. La benzine a pour formule $C^6H^6$; on considère ici six points représentant ce que l'on appelle des atomes de carbone tels que de chaque point partent quatre lignes de liaison, en un mot six points tétratomiques qui avec six autres points monoatomiques forment un réseau ne possédant plus de valence libre.

La chose étant ainsi considérée d'une façon générale, il est assez facile d'arriver à la formation de tous les réseaux demandés.

Si l'on supprime tous les six points monoatomiques avec les lignes qui y aboutissent, il reste un réseau incomplet, de valence 6, formé avec six points tétratomiques.

Les valences libres peuvent être distribuées de différentes façons. Il peut y avoir une valence libre en chacun des six points, ou bien une valence égale à 2 en l'un des points, et une valence libre en quatre autres points, un point est alors de valence nulle; et ainsi de suite.

Les cas se trouvent indiqués, dans le tableau suivant, par la partition des valences correspondantes :

| Distribution des valences. | | Nombre de représentations. |
|---|---|---|
| 1 1 1 1 1 1 | | 17 |
| 2 1 1 1 1 | | 141 |
| 2 2 1 1 | | 294 |
| 2 2 2 | | 48 |
| 3 1 1 1 | 22 + 8 = | 30 |
| 3 2 1 | 88 + 83 = | 171 |
| 3 3 | 179 + 39 = | 218 |
| | | 919 |

On obtient ainsi en tout 919 isomères au point de vue topologique de la benzine. Il est évident que les faits chimiques permettent de faire un choix entre ces 919 cas; mais, *a priori*, il y a lieu de les considérer tous également; on n'a point le droit de choisir une de ces 919 figures sans dire pourquoi on rejette les autres.

M. Brunel présente à la Société les dessins de ces 919 isomères.

**Séance du 25 février 1893.** — M. Figaret est élu membre titulaire de la Société.

— M. Rayet rend compte que la Commission chargée de la vérification des archives a trouvé qu'elles étaient en bon ordre, et M. Gayon annonce que la Commission des finances a constaté la parfaite régularité des comptes du Trésorier.

La Société vote l'approbation de ces comptes, et des remerciements à l'Archiviste et au Trésorier.

Le projet de budget suivant est voté par la Société :

| | |
|---|---|
| Frais de recouvrement des cotisations............F. | 70 |
| Frais de convocation.............................. | 100 |
| Frais de correspondance.......................... | 150 |
| Entretien.......................................... | 300 |
| Frais de catalogue................................ | 300 |
| Achats de livres pour compléter les collections...... | 200 |
| Reliure........................................... | 500 |
| Impression des *Mémoires*......................... | 6,500 |
| Total...................F. | 8,120 |

— M. Picard présente une note sur une expression de la force vive d'un système de corps, qui sera imprimée dans les *Mémoires* de la Société.

— M. Rayet communique un travail sur l'élimination de l'erreur d'excentricité des cercles gradués au moyen d'un nombre déterminé de verniers régulièrement distribués sur la circonférence. Ce travail paraîtra également dans les *Mémoires*.

— M. Chenevier fait ensuite une communication sur l'arsenic dans les bronzes, sa recherche et son influence.

*Recherche et dosage de l'arsenic.* — L'arsenic est contenu dans les bronzes plus fréquemment qu'on ne pense. Quand on dose l'étain, comme cela se fait le plus souvent, à l'état d'oxyde stannique insoluble dans l'acide azotique, l'arsenic est retenu à peu près intégralement à l'état d'arséniate stannique insoluble ($As^2O^5,2SnO^2$). (Hæffely, *Phil. Mag.*, oct. 1855. — Dict. Wurtz, t. I, p. 403.) Cette combinaison est assez stable au rouge et se dissocie seulement à un rouge très vif.

Digitized by Google

En tenant compte de ces observations on peut, sans rien changer au mode ordinaire d'analyse des bronzes après attaque par l'acide azotique, doser l'arsenic rapidement et avec une certaine approximation. Le résidu insoluble dans l'acide azotique, lavé et séché, est calciné une première fois, le filtre à part, dans un creuset de porcelaine, pendant une heure et demie, au four à moufle rouge, puis pesé. On chauffe ensuite une seconde fois le plus fortement possible sur le four Leclerc et Forquignon, ou le chalumeau à gaz surmonté d'une cheminée, jusqu'à ce que, après cinq minutes de chauffe en creuset fermé, il ne se dégage plus de fumées blanches d'anhydride arsénieux quand on soulève le couvercle du creuset. On fait alors la seconde pesée. Le dernier poids trouvé est celui de l'oxyde stannique, et la différence des deux pesées correspond à l'anhydride arsénique.

Si le bronze contient beaucoup d'arsenic, en même temps qu'un peu de zinc, on observe souvent que le précipité de sulfure de zinc formé en solution acide faible est un peu jauni par une trace de sulfure d'arsenic.

Cette trace d'arsenic dans la solution acide gêne également un peu le dosage électrolytique du cuivre et du plomb.

Pour les dosages d'arsenic très précis, il faudra choisir de préférence la méthode de H. Rose : réduction à chaud dans un courant d'hydrogène sulfuré des oxydes insolubles dans l'acide azotique et volatilisation du sulfure d'arsenic (1), puis oxydation de ce sulfure.

L'acide arsénique formé sera ensuite dosé volumétriquement par l'azotate d'urane (2) en présence de la teinture de cochenille comme indicateur.

*Influence de l'arsenic sur les propriétés mécaniques du bronze.* — L'arsenic est généralement cité comme rendant les métaux cassants, sans autres détails. Des essais sur le cuivre raffiné (3) ont bien montré que l'arsenic, à l'état d'arséniate cuivreux, jusqu'à 0,55 p. 100, le rend à peine cassant à chaud, et que l'arsenic métalloïdique, jusqu'à 1 p. 100, le rend seulement légèrement cassant à chaud. Mais il faut remarquer que ces mêmes essais ont donné des résultats à peu près semblables pour l'étain.

J'ai fait préparer quelques bronzes arséniés composés de cuivre raffiné et d'étain banka (contenant moins de 0,5 p. 100 d'impuretés)

(1) Frésénius, *Anal. quant.*, 4e édit. française, p. 542.
(2) Id., p. 316.
(3) Hampe, *Zeitschrift für analytische Chemie* et *Monit. scientif.*, juill. 1887.

Digitized by Google

en additionnant l'alliage fondu d'une certaine quantité d'arsenic métalloïdique chimiquement pur.

Une partie de cet arsenic s'est volatilisée, mais on n'a tenu compte que de la quantité trouvée à l'analyse.

TABLEAU I. — **Essais physiques.**

| | | Somme de l'arsenic et de l'étain pour 100 (1). | ESSAIS AU CHOC. Section des barreaux. | ESSAIS AU CHOC. Distance des points d'appui = 164mm. Poids du mouton = 12 kil. Hauteur de chute prod. la rupture. | ESSAIS AU CHOC. Distance des points d'appui = 164mm. Poids du mouton = 12 kil. Flèche limite. | ESSAIS À LA TRACTION. Résistance par millimètre carré. | ESSAIS À LA TRACTION. Allongement pour 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mm | m | mm | kil. | |
| 1re *Fusion*. Bronze à 1.30 p. 100 d'arsenic | 1. a. | 15.30 | 30 × 31 | 0.40 | 0.5 | 20.700 | 0.35 |
| | 1. b. | 15.40 | 31 × 31 | 0.35 | 0.79 | 18.750 | 0.50 |
| 2e *Fusion*. Bronze à 0.15 p. 100 d'arsenic | 2. c. | 15.15 | 31 × 31 | 0.50 | 0.15 | 21.785 | 1.45 |
| | 2. d. | 15.00 | 31 × 31 | 0.50 | 1.75 | 21.292 | 1.35 |
| 3e *Fusion*. Bronze pur | 3. e. | 15.55 | 31 × 31 | 0.35 | » »» | 18.982 | 0.50 |
| | 3. f. | 15.70 | 31 × 31 | 0.30 | » »» | 18.649 | 0.65 |

TABLEAU II. — **Compositions des bronzes.**

| | | Etain p. 100 | Arsenic. | Cuivre. | Plomb. | Zinc. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1re *Fusion*. A 1.30 p. 100 d'arsenic | 1. a. choc. | 14.40 | 1.30 | 84.10 | 0.20 | 0.10 |
| | 1. a. traction. | 14.20 | 1.30 | 84.30 | 0.10 | 0.10 |
| | 1. b. choc. | 14.30 | 1.30 | 84 » | traces | 0.40 |
| | 1. b. traction. | 14.50 | 1.20 | 83.90 | traces | 0.40 |
| 2e *Fusion*. A 0.15 p. 100 d'arsenic | 2. c. choc. | 15 » | 0.20 | 84.40 | traces | 0.40 |
| | 2. c. traction. | 15 » | 0.20 | 84.50 | traces | 0.30 |
| | 2. d. choc. | 15 » | 0.10 | 84.50 | traces | 0.40 |
| | 2. d. traction. | 14.90 | 0.10 | 84.80 | 0.10 | 0.10 |
| 3e *Fusion*. Bronze pur | 3. e. choc. | 15.30 | » | 84.20 | 0.10 | 0.40 |
| | 3. e. traction. | 15.80 | » | 83.90 | traces | 0.30 |
| | 3. f. choc. | 15.70 | » | 84 » | traces | 0.30 |
| | 3. f. traction. | 15.70 | » | 83.80 | 0.20 | 0.30 |

CONCLUSIONS. — Ces résultats montrent que jusqu'à 2 p. 100

(1) En supposant l'arsenic évalué en étain, en multipliant son poids par le rapport des équivalents $\frac{Sn}{As}$.

Digitized by Google

à l'état métalloïdique ne rend pas le bronze sensiblement plus cassant que ne le ferait une quantité équivalente d'étain et ne constitue pas une impureté particulièrement dangereuse.

**Séance du 9 mars 1893.** — M. Laborde présente à la Société une moisissure nouvelle, et signale quelques-unes de ses propriétés.

Son aspect extérieur est variable, suivant les milieux où on la cultive; lorsque la végétation est active, elle se présente comme une couche cotonneuse parfaitement blanche à la surface, plus ou moins rouge au-dessous. Sur certains milieux solides tels que l'empois d'amidon, ou mieux, de farine, l'albumine coagulée et nutritive, etc., il y a très peu de développement extérieur, mais le mycélium s'étend à l'intérieur en se colorant fortement en rouge. Vieillie dans le moût de raisin ou le moût de bière, où elle s'est développée, la masse est entièrement rouge.

M. Constantin, qui a bien voulu se charger de l'étudier au point de vue botanique et de la classer, affirme qu'elle est nouvelle; il trouve son organisation très singulière et propose de lui donner le nom d'*Eurotiopsis*, à cause de quelques analogies d'aspect avec les Eurotiums.

Pour mieux le déterminer, M. Laborde l'appelle *Eurotiopsis rubra*.

Il a constaté l'existence de deux sortes d'organes de reproduction : des conidies isolées ou en chapelets de deux ou trois, portées par les filaments du thalle, et de grosses boules disséminées dans la masse, remplies de spores lorsqu'elles sont mûres. Ces spores germent en émettant un tube mycélien qui, en se ramifiant, se cloisonne, ce qui distingue nettement cette moisissure des mucors.

La couleur rouge est un produit d'excrétion du *mycélium*, elle colore en partie les organes de la plante; une autre partie se dissout dans le milieu de culture, une autre reste quelquefois en granulations amorphes insolubles.

Ensemencé sur du liquide Raulin contenant du sucre interverti, ce champignon se développe environ trois à quatre fois moins vite que l'*Aspergillus niger*, à la température de 28°. Si le liquide ne contient que du sucre cristallisable, la végétation est très lente, parce que la sécrétion de sucrase est peu abondante, mais elle n'est pas nulle.

En remplaçant le sucre cristallisable par du maltose, le développement est plus rapide; de même dans le moût de bière et le moût de raisin, mais toujours moindre que dans le premier cas.

Digitized by Google

L'empois d'amidon est liquéfié, puis saccharifié : il y a donc sécrétion d'amylase. L'action comburante sur ces hydrates de carbone est analogue à celle des autres moisissures; cependant on constate difficilement la production intermédiaire d'acide oxalique, si ce n'est dans le cas où on fait la culture sur du pain; on trouve alors dans l'eau qui le baigne de l'oxalate d'ammoniaque, l'ammoniaque provenant de l'action sur la matière azotée.

Le pouvoir alcoogène de cette moisissure est beaucoup plus considérable que celui qu'on a trouvé jusqu'ici pour les autres, y compris les mucors, car en la faisant vivre submergée dans un moût de raisin, elle a donné 7 p. 100 d'alcool au bout d'un mois; dans un moût déjà alcoolisé à 4 p. 100, elle s'est développée et a porté la richesse alcoolique à 7,6.

L'alcool, en effet, ne gêne sérieusement son développement qu'à 8 p. 100. A cette proportion les spores germent encore lentement; à 6 p. 100, la végétation est assez active, tandis que les autres moisissures sont considérablement gênées, même à 4 p. 100.

Vivant sur de l'empois d'amidon avec une quantité d'air restreinte, il y a saccharification et fermentation du sucre produit: le degré alcoolique a atteint, dans une expérience, 5 p. 100 au bout de deux mois environ.

Les matières albuminoïdes proprement dites, telles que la caséine, l'albumine d'œuf, l'albumine du sang, le gluten, etc., rendues nutritives par l'addition de sels minéraux et coagulées par la chaleur, sont liquéfiées en donnant de la matière colorante et des peptones. Cette matière colorante peut être extraite et séparée des peptones par l'alcool concentré, qui prend une belle couleur rouge dichroïque; elle est due à une transformation encore inconnue de la matière albuminoïde.

Sur le lait, le développement est abondant et la couleur rouge intense; il y a coagulation, puis redissolution de la caséine précipitée par suite de la sécrétion d'une présure, puis d'une caséase.

Un peu d'alcool ajouté au lait empêche l'apparition de la couleur rouge, sans toutefois faire perdre définitivement à la moisissure son pouvoir chromogène.

La matière azotée du lait est transformée en peptone, avec production ensuite d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque, et même d'urée ou de corps très voisins.

Le sucre de lait reste longtemps inaltéré si l'air n'est pas en très grand excès; dans le cas contraire, il disparaît à la fin sans que l'alcalinité du liquide cesse; on ne constate pas de production

Digitized by Google

d'acide oxalique en quantité sensible, comme avec le *Penicilium* ou l'*Aspergillus niger*.

— M. Brunel présente quelques remarques relatives à la représentation symbolique et à la représentation graphique des relations de parenté.

1° Historique. Les relations de parenté et les alliances dans les *Pandectes* et le *Digeste*, Leibnitz, de Morgan, Ellis, Macfarlane.

2° *a)* Parenté directe. Enfants, petits-enfants. Parents, grands-parents.

*b)* Parenté proprement dite. Frère, oncle, cousin, etc.

*c)* Alliance. Mari, gendre, beau-frère, etc.

3° Indétermination des termes ordinairement employés pour désigner la parenté ou l'alliance de deux personnes.

Nécessité qu'il y a de remédier à la plurivoquie des mots du langage courant, et d'une façon générale et particulièrement dans la question précédente.

Exemples: Beau-père, beau-frère, belle-fille, belle-sœur, cousin...

4° Le nombre immense des cas qu'il y a à distinguer s'oppose à la création de mots permettant de préciser et de spécifier d'une façon certaine et suffisante chacun des cas.

Emploi des symboles.

Symbole fondamental : F $(f, \varphi)$. — Son emploi. — Symbole inverse : $F^{-1}$ $(f^{-1}, \varphi^{-1})$. Une grande lettre indique une personne dont le sexe est indéterminé, une lettre italique une personne mâle, une lettre grecque une personne du sexe féminin.

Application des symboles. Distinction entre les parentés et les alliances. Emploi des représentations graphiques.

Une flèche reliant deux lettres, A et B

$$A \longleftarrow B$$

est la représentation graphique du fait exprimé symboliquement par l'une ou l'autre des deux relations

$$A/FB \quad \text{ou} \quad B/F^{-1}A.$$

A est enfant de B, ou B est parent de A.

Identité entre les deux modes de représentation.

5° Application à des exemples particuliers des deux procédés de représentation.

Problème du *Digeste : Patruus ego tibi sum, tu mihi.*

Problème de de Morgan.

Problème de Macfarlane.

Digitized by Google

M. Brunel termine en indiquant rapidement une série de questions dont l'analyse et le développement ne présentent avec l'emploi de l'une ou de l'autre des représentations aucune difficulté :

Le frère de mon oncle est l'oncle de mon frère.

Mon neveu a un oncle qui est le petit-fils de mon grand-père.

Mon neveu a un oncle qui est le fils de mon grand-père.

Le père de mon oncle était le neveu de mon père.

L'oncle de mon grand-père était le grand-père de mon oncle.

Un de mes oncles a pour neveu un de mes neveux.

Mon petit-fils est le frère de la fille de mon père.

Je n'ai qu'une petite-fille, ma nièce.

Peut-on toujours se marier avec sa cousine germaine?

Mon oncle paternel peut-il être l'oncle maternel de mon frère?

**Séance du 23 mars 1893.** — M. Gayon fait connaître à la Société les résultats définitifs d'une expérience qu'il a commencée en 1888 sur la pasteurisation des vins de la Gironde. Une commission, composée de propriétaires et de négociants, appelée à déguster par comparaison les échantillons de vins chauffés et de vins non chauffés, a conclu :

1° En ce qui concerne les vins postérieurs à 1881, et qui étaient tous plus ou moins menacés d'altération par suite des atteintes du mildiou :

« Que ce mode de traitement réussit à arrêter le développement » des germes morbides, et par conséquent la décadence du vin; » que, dans ce cas, il peut rendre de grands services. » Il est nécessaire pour cela de le chauffer à 60°, une température de 55° étant insuffisante;

2° En ce qui concerne les vins de 1881 et des récoltes antérieures, dont la qualité et la bonne tenue étaient déjà éprouvées par une mise en bouteilles déjà ancienne:

« Que le chauffage n'a pas arrêté le développement du vin; le » vieillissement des vins chauffés et des vins non chauffés a été » sensiblement parallèle; ces remarques s'appliquent aussi bien » aux vins blancs qu'aux vins rouges. »

M. Gayon pense, dès lors, que la pratique du chauffage doit être encouragée, et que les viticulteurs ne peuvent qu'en retirer de grands avantages pour la conservation et l'amélioration de leurs produits.

— M. Bordier fait une communication sur les images rétiniennes des amétropes, qu'il continuera dans une séance prochaine.

Digitized by Google

— M. Pionchon dépose sur le bureau, au nom de M. Aignan, une note sur l'*Action de la température sur le pouvoir rotatoire des liquides,* dont un extrait paraîtra aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (séance du 4 avril 1893).

Tout récemment (1), M. Colson a publié d'intéressantes recherches sur la variation que le pouvoir rotatoire spécifique de certains composés liquides éprouve sous l'influence de la chaleur. Parmi les composés qu'il a examinés, l'*oxyde d'isobutylamyle* lui a montré un pouvoir rotatoire changeant de signe vers —30°, et M. Colson, opposant ce fait remarquable aux principes de la stéréochimie, en conclut que « la constitution chimique ne paraît pas être le facteur prépondérant dans la valeur ou dans le signe du pouvoir rotatoire ».

Sans prendre parti dans cette discussion, il me semble que l'on peut interpréter d'une manière différente les phénomènes physiques signalés par M. Colson.

Soient deux corps ayant des pouvoirs rotatoires de signes contraires $[\omega_D^1]$, $[\omega_D^2]$ à une certaine température $t$; on les mélange en prenant des masses de chacun d'eux respectivement égales à $p_1$ et $p_2$; soient $\omega_D^1$ et $\omega_D^2$ les rotations produites par chacun des corps supposés seuls dans le mélange. D'après la formule

$$[\omega] = \frac{\omega}{l\varepsilon\delta},$$

où $\varepsilon = \frac{P}{M}$ (P masse du corps actif, M masse totale de la dissolution), on a

$$\omega = [\omega]\frac{Pl\delta}{M},$$

d'où

$$\omega_D^1 = [\omega_D^1]\frac{p_1 l\delta_1}{M}, \quad \omega_D^2 = [\omega_D^2]\frac{p_2 l\delta_2}{M},$$

et

$$\omega_D^1 + \omega_D^2 = \omega_D = \frac{l}{M}\left[p_1\delta_1[\omega_D^1] + p_2\delta_2[\omega_D^2]\right].$$

Puisque $[\omega_D^1]$ et $[\omega_D^2]$ sont de signes contraires, la quantité entre crochets est une différence qui est susceptible de s'annuler pour des valeurs convenables des variables qu'elle renferme.

1° A température constante, si l'on observe la rotation produite sur une radiation particulière telle que la flamme de la lampe à

(1) *C. R.*, t. CXVI, 1893, p. 319-322.

Digitized by Google

alcool salé, les seules variables sont les masses de chacune des substances actives; et en les prenant de manière à satisfaire à la relation

$$p_1 \delta_1 [\omega_D^1] + p_2 \delta_2 [\omega_D^2] = 0,$$

la rotation observée sera nulle, la liqueur paraîtra inactive sur la lumière polarisée : nous dirons qu'elle est *inactive par compensation*.

2° Qu'arrivera-t-il si nous examinons, à la même température, l'action d'une pareille liqueur sur des radiations autres que $\lambda_D$?

La rotation $\omega_\lambda$ produite sur la vibration polarisée de longueur d'onde $\lambda$ sera

$$\omega_\lambda = \frac{l}{M} \left[ p_1 \delta_1 [\omega_\lambda^1] + p_2 \delta_2 [\omega_\lambda^2] \right].$$

D'après la formule de Cauchy et de Boltzmann, qui paraît s'appliquer très exactement à ces phénomènes (¹), on aura

$$\omega_D = \frac{l}{M} \left[ p_1 \delta_1 \left( \frac{A_1}{\lambda_D^2} + \frac{B_1}{\lambda_D^4} \right) + p_2 \delta_2 \left( \frac{A_2}{\lambda_D^2} + \frac{B_2}{\lambda_D^4} \right) \right],$$

$$\omega_\lambda = \frac{l}{M} \left[ p_1 \delta_1 \left( \frac{A_1}{\lambda^2} + \frac{B_1}{\lambda^4} \right) + p_2 \delta_2 \left( \frac{A_2}{\lambda^2} + \frac{B_2}{\lambda^4} \right) \right],$$

et $\omega_\lambda$ est différent de zéro, à moins que l'on ait

$$\frac{\frac{A_1}{\lambda_D^2} + \frac{B_1}{\lambda_D^4}}{\frac{A_1}{\lambda^2} + \frac{B_1}{\lambda^4}} = \frac{\frac{A_2}{\lambda_D^2} + \frac{B_2}{\lambda_D^4}}{\frac{A_2}{\lambda^2} + \frac{B_2}{\lambda^4}},$$

ce qui indiquerait que les deux corps actifs considérés possèdent exactement le même *pouvoir dispersif*. En général il n'en est pas ainsi; c'est pourquoi une liqueur inactive par compensation, quand on considère une radiation particulière, telle que celle de la lampe à alcool salé, sera active pour des radiations plus longues et pour des radiations plus courtes; la rotation change de signe en passant par la radiation particulière $\lambda_D$, de telle sorte que le liquide examiné paraîtra dextrogyre pour certaines radiations, inactif pour une radiation particulière, lévogyre pour les autres radiations.

3° Que devra-t-on observer si l'on examine à différentes tempé-

(¹) Nasini, *Atti della R. Accademia dei Lincei*, 3ᵉ série, t. XIII, 1882, p. 129-159. — Seyffarl, *Wied. Annalen*, t. XLI, 1890, p. 113-134.

Digitized by Google

ratures l'action de cette liqueur composée sur la radiation polarisée $\lambda_D$ pour laquelle $\omega_D = 0$ à une température donnée $t$?

D'après les faits les mieux observés jusqu'à présent [1], nous pouvons admettre que l'on a, pour une température $t'$ différente de $t$, au moins dans un intervalle de température peu étendu,

$$\omega_D^{t'} = \omega_D [1 + k\Delta t],$$

$k$ étant un coefficient positif qui dépend de la substance active considérée, et $\Delta t$ représentant la différence de température $t' - t$.

Comme la rotation fournie par notre liqueur est la résultante de deux rotations partielles, nous aurons

$$\omega_D^{t'} = \omega_D^1 [1 + k_1 \Delta t] + \omega_D^2 [1 + k_2 \Delta t],$$

et $\omega_D^1 + \omega_D^2$ étant égal à zéro, il reste

$$\omega_D^{t'} = \Delta t [\omega_D^1 k_1 + \omega_D^2 k_2].$$

$\omega_D^1 k_1 + \omega_D^2 k_2$ est en général différent de zéro. Donc la liqueur inactive par compensation à une température donnée $t$ ne l'est plus à une température différente. La rotation observée quand la température varie est proportionnelle à la variation de température. Enfin, le signe de la rotation change comme $\Delta t$ en passant par la température $t$ pour laquelle la liqueur n'exerce pas d'action sur la direction de la vibration polarisée qui la traverse.

Il est aisé de vérifier par l'expérience les considérations qui précèdent. C'est ce que j'ai fait en opérant : 1° sur un mélange d'essence de térébenthine gauche et de camphre droit, dissous dans la benzine; 2° sur un mélange d'*essence de térébenthine gauche* et d'*huile de résine* déviant *à droite* le plan de polarisation de la lumière.

Le composé actif à examiner était placé dans un tube de 20 centimètres, en métal, entouré d'un manchon dans lequel pouvait circuler un liquide dont la température, maintenue sensiblement constante pendant une série de mesures, pouvait varier à volonté. La température du liquide dans le manchon était déterminée à l'aide de un ou deux thermomètres placés à chacune des extrémités du tube, l'un à l'entrée, l'autre à la sortie du liquide. La lumière était polarisée à l'entrée par un *nicol coupé* et analysée à la sortie

[1] Gernez, *Annales de l'École normale supérieure*, 1re série, t. I. — Fizeau, *Annales de ch. et de phys.*, 4e série, t. II, p. 176. — Lang, *Annales de Poggendorff*, t. CLVI, 1875, p. 422. — Soncke, *Annalen der Physik und der Chemie*, nouvelle série, t. III, 1878, p. 516. — Joubert, *Journal de physique*, 1re série, t. VIII, 1879, p. 5.

Digitized by Google

à l'aide d'un *nicol ordinaire* mobile au centre d'un cercle divisé. Un brûleur à lumière jaune fournissait la radiation $\lambda_D$; un bec de gaz à double courant d'air donnait une lumière blanche, dont on séparait, à l'aide de verres fortement colorés, soit des radiations rouges, soit des radiations vertes (ces dernières assez peu homogènes).

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants

TABLEAU I. — **Action de la température sur le pouvoir rotatoire d'un mélange d'essence de térébenthine gauche et de camphre droit dissous dans la benzine.**

| ROUGE | | JAUNE | | VERT | |
|---|---|---|---|---|---|
| ω | *t* | ω | *t* | ω | *t* |
| −2°37′ | 13 | −0°43′ | 13 | +2°24′ | 13 |
| −1 32 | 35 | +0 24 | 33 | +4 5 | 38 |
| −0 50 | 49,5 | +1 30 | 51 | +5 6 | 50 |
| −0 21 | 61 | +1 59 | 61 | +5 33 | 62 |
| +0 10 | 73 | +2 40 | 75 | +5 54 | 72 |
| +0 34 | 86 | +3 | 81 | +6 43 | 90 |

Les mesures relatives à la radiation $\lambda_D$ ont été effectuées avec grand soin, et pour les nombres trouvés on vérifie bien la relation

$$\Delta\omega_D = k\Delta t,$$

avec $k = 3{,}3$, les rotations $\omega_L$ étant exprimées en *minutes*.

TABLEAU II. — **Action de la température sur le pouvoir rotatoire d'un mélange d'essence de térébenthine gauche et d'huile de résine droite.**

| ROUGE | | JAUNE | | VERT | |
|---|---|---|---|---|---|
| ω | *t* | ω | *t* | ω | *t* |
| −0°56′ | 15 | −0° 9′ | 15 | +1° 5′ | 15 |
| −1 13 | 37 | −0 38 | 36 | +0 34 | 37 |
| ? | 50 | −0 48 | 50 | +0 25 | 50 |
| −1 43 | 61 | −0 18 | 61 | +0 32 | 62 |
| ? | » | −1 45 | 85 | +1 | 85 |

Digitized by Google

Les mesures ont été beaucoup plus difficiles dans cette série que dans la précédente, parce que le liquide était assez fortement coloré par l'huile de résine.

Biot, le premier, a signalé un pareil phénomène au cours de ses longues recherches sur le pouvoir rotatoire des dissolutions d'acide tartrique [1].

Désignant le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique par $[\alpha] = \frac{\alpha}{l\varepsilon\delta}$, où $\alpha$ représente la déviation imprimée au plan de polarisation d'une certaine radiation (rouge) par une longueur $l$ de dissolution de densité $\delta$ et de concentration $\varepsilon$, il trouve que l'on a pour une température déterminée

$$[\alpha] = A + Be.$$

Dans cette formule, $e$ représente la proportion d'eau (masse d'eau contenue dans l'unité de masse de la dissolution examinée); A et B sont les coefficients numériques, qui, à + 12° et pour la radiation rouge, prennent les valeurs $A = -1{,}17987$, $B = +14{,}3154$. Pour une valeur convenable de $e$, on obtiendrait $[\alpha] = 0$ : la liqueur serait inactive sur la radiation rouge.

Mais elle serait active pour les autres radiations, ainsi que Biot le dit lui-même, car A et B varient avec la longueur d'onde de la lumière considérée. De plus, la liqueur inactive à + 12° pour la radiation rouge serait active à une température différente, négative au-dessous de 12°, positive au-dessus, car Biot a démontré expérimentalement que, dans la formule $[\alpha] = A + Be$, A variait seul sous l'influence de la température, diminuant à mesure que la température baissait, et prenant, par exemple, à + 6° la valeur $-2{,}23511$.

Biot n'a jamais songé à supposer que la symétrie moléculaire de l'acide tartrique et son pouvoir rotatoire eussent ainsi changé de signe avec la température ou le degré de dilution; il a admis que la dissolution était le siège d'une véritable combinaison chimique, et il énonça l'hypothèse des *combinaisons en proportion* continûment variables. J'ai montré [2], dans un mémoire qui sera publié très prochainement, que l'on peut expliquer tous ces faits d'une manière simple en admettant que de pareilles dissolutions renferment des composés partiellement dissociés.

(1) *Mémoires de l'Institut de France*, t. XV.
(2) *C. R.*, t. CXII.

Digitized by Google

*Conclusions.* — Lorsqu'un liquide actif sur la lumière polarisée présentera de pareilles particularités, l'hypothèse la plus simple consistera donc à supposer qu'il contient des molécules actives de deux espèces distinctes, douées de pouvoirs rotatoires de signes différents. Il pourrait en être ainsi pour l'oxyde d'isobutylamyle étudié par M. Colson. Il serait vraiment étrange que, comme l'admet cet habile expérimentateur, la structure de la molécule fût modifiée sous l'influence de la température au point que son action sur la lumière polarisée changeât de sens en passant par une température déterminée, sans que toutefois la composition de la molécule fût altérée. Et ce serait une particularité digne de remarque que, au-dessous de cette température, la valeur absolue du pouvoir rotatoire variât dans un certain sens, et que au-dessus de cette température la valeur absolue du pouvoir rotatoire variât en sens inverse à mesure que la température s'élève.

Il n'est pas nécessaire de supposer, pour expliquer les résultats publiés par M. Colson, que l'oxyde d'isobutylamyle examiné par lui était un produit impur, renfermant par exemple deux composés de nature distincte doués de pouvoirs rotatoires de signes contraires. Il suffit d'admettre, comme pour les dissolutions d'acide tartrique, que les molécules d'oxyde d'isobutylamyle sont susceptibles de se polymériser à l'état liquide; de telle sorte que le signe du pouvoir rotatoire qui caractérise la molécule d'oxyde d'isobutylamyle serait celui que l'on observe à température élevée, car c'est vraisemblablement celui que fournirait l'examen de la vapeur de ce composé. Cette hypothèse, que j'oppose à celle de M. Colson, me paraît conforme aux faits les mieux observés sur la variation du pouvoir rotatoire spécifique, lorsqu'on fait varier la température des corps actifs. Si elle est juste, M. Colson pourra vérifier — à moins de relations exceptionnelles entre les pouvoirs dispersifs des molécules actives dont je suppose l'existence — que l'oxyde d'isobutylamyle, *inactif* à une température convenable pour la lumière jaune du sodium, est *négatif* à cette même température pour certaines radiations, et *positif* pour d'autres.

— M. Brunel présente quelques remarques sur la *démonstration par l'absurde*. Il insiste tout particulièrement sur la nécessité de l'emploi de ce mode de démonstration.

Lorsqu'on restreint à l'avance par des conditions limitatives le domaine général où l'on pouvait d'abord s'étendre, lorsque, en d'autres termes, on considère comme inadmissibles les solutions qui peuvent fort bien se présenter, mais que l'on convient de

Digitized by Google

rejeter, on ne peut se débarrasser des solutions étrangères qui se présentent forcément qu'en les éloignant, en les repoussant parce qu'elles sont inadmissibles dans les conditions où l'on s'est placé. Si l'on sait, par exemple, que dans un triangle le rayon du cercle circonscrit est double du rayon du cercle inscrit, en désignant par $x, y, z$ les côtés du triangle, on a la condition

$$xyz = (x + y - z)(y + z - x)(z + x - y),$$

et il y a $\alpha^2$ systèmes de valeurs possibles pour $x : y : z$. Mais nous voulons avoir un triangle, en d'autres termes $x, y, z$ doivent être des quantités positives, et aussi les quantités telles que $x + y - z$; mais la relation précédente peut s'écrire

$$x(x - y)(x - z) + (y + z - x)(y - z)^2 = 0,$$

qui, en supposant $x, y, z$ rangés par ordre de grandeur croissante, ne peut être satisfaite. Il faut nécessairement que $x = y = z$, le triangle est équilatéral. C'est la seule solution, mais il y en a d'autres que nous négligeons parce que nous les considérons comme absurdes.

**Séance du 13 avril 1893.** — MM. Hausser et de Vallandé sont élus membres titulaires de la Société.

— M. Bordier continue sa communication sur les images rétiniennes des amétropes.

— M. Chenevier présente une étude sur quelques houilles à vapeur (principalement du midi de la France).

Cette étude ne comporte pas de méthodes nouvelles, mais seulement un examen de certaines méthodes connues, des services qu'elles peuvent rendre, et des conclusions pratiques qu'on peut tirer de leurs résultats.

Ces recherches ayant eu pour objet les houilles consommées dans les foyers de locomotives, mes remarques s'appliquent spécialement à ce genre de foyers. Toutefois, j'espère que ces résultats ne seront pas inutiles pour l'étude des houilles en général, et spécialement celle des houilles à vapeur.

Analyse des houilles. Méthodes suivies dans l'analyse. — *Cendres.* — Les dosages de cendres ont été faits sur plusieurs prises de 1 gramme, chauffées pendant deux heures au four à moufle dans des nacelles de surface de 16 centimètres carrés.



Digitized by Google

*Matières volatiles.* — La méthode la plus exacte est celle de Galloway (1). On pèse 5 grammes de charbon sec dans un creuset de porcelaine qu'on place dans un creuset de terre réfractaire, en remplissant l'espace compris entre les deux creusets avec de petits fragments de charbon de bois. On met dans un four froid et on chauffe une heure. Après refroidissement, on pèse la perte du creuset en porcelaine. Si la température du four n'était pas assez élevée, on trouverait des résultats trop faibles. Le four Perrot, réglé à flamme presque éclairante, m'a donné les meilleurs résultats pour ce dosage.

Un résultat important à noter dans cet essai, c'est la nature et l'aspect du coke restant dans le creuset. Pour des teneurs égales en matières volatiles, cet aspect varie suivant la nature de la houille, et ces variations correspondent à des puissances calorifiques et des propriétés différentes.

*Humidité.* — L'eau est dosée en chauffant à 100°, jusqu'à cessation de perte de poids, une quantité de 100 grammes au moins de charbon concassé en fragments de la grosseur d'un pois. En pulvérisant trop finement le charbon, il perd de l'humidité dans le pilage, et les déterminations sont inexactes. Un chauffage trop prolongé de la substance finement pulvérisée peut déterminer une augmentation de poids par absorption d'oxygène.

Les résultats que j'ai obtenus à 100° ont toujours été très exacts, même avec des houilles d'Écosse, qui dégageraient, a-t-on prétendu quelquefois, des matières volatiles autres que l'eau. Voici, par exemple, une houille d'Écosse qui, séchée à 100° dans un courant d'azote sec, m'a donné :

| | |
|---|---|
| Perte de poids | 7,54 p. 100 |
| Eau recueillie dans les appareils à absorption | 7,40 — |

Ce fait est à noter pour des houilles qui, après dessiccation à l'air à température ordinaire et paraissant sèches, perdent, comme j'en ai vu, près de 10 p. 100 par dessiccation à 100°.

*Analyse élémentaire : carbone total et hydrogène.* — La combustion dans un courant d'oxygène sur la grille à analyse organique va très bien. Une colonne de 15 à 20 centimètres de bioxyde de cuivre suffit pour assurer l'oxydation complète. La houille à brûler étant placée dans une nacelle, on peut doser les cendres directement sur l'échantillon servant à l'analyse élémentaire.

(1) Post, *Traité d'anal. chim.*, p. 28.

Digitized by Google

TABLEAU I. — **Analyse de quelques houilles** (charbon sec).

| | | Menus lavés de Carmaux (Tarn). | Menus bruts de Carmaux (Tarn). | Menus lavés de Graissessac (Hérault). | Noisettes de Campagnac (Aveyron). | Menus lavés de Decazeville (Aveyron). | Menus anglais de Cardiff. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Analyse élémentaire | Carbone total | 81.77 | 80.68 | 80.82 | 70.40 | 73.34 | 82.21 |
| | Hydrogène | 5.15 | 5.49 | 4.84 | 5.91 | 5.40 | 4.67 |
| | Oxygène et divers | 4.47 | 2.27 | 4.49 | 6.22 | 10.66 | 3.24 |
| | Cendres | 8 61 | 11.56 | 9.85 | 8.47 | 8.60 | 9.88 |
| | | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 |
| Matières volatiles | | 21.80 | 24.30 | 14.70 | 32.00 | 31.40 | 14.00 |
| Carbone fixe (1) | | 69.59 | 64.14 | 75.45 | 59.53 | 60.00 | 76.12 |
| Nature du coke | | fondu, brillant, très boursouflé. | fondu, brillant, très boursouflé. | fritté, à peine formé. | fendu, brillant, boursouflé. | fritté, friable, à peine formé. | fritté, friable, peu formé. |

Les cendres étant un élément très variable, il est préférable d'éliminer cette quantité, pour comparer entre eux les charbons. Les cendres n'influent d'ailleurs sur la valeur calorifique qu'indirectement, comme non combustible ou comme gênant la combustion en empêchant l'accès de l'air.

TABLEAU II. — **Analyse des mêmes houilles** (charbon sec et cendres déduites).

| | | Menus lavés de Carmaux. | Menus bruts de Carmaux. | Menus lavés de Graissessac. | Noisettes de Campagnac. | Menus lavés de Decazeville. | Menus anglais de Cardiff. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Analyse élémentaire | Carbone total | 89.48 | 91.23 | 89.65 | 86.75 | 82.43 | 91.22 |
| | Hydrogène | 5.63 | 6.21 | 5.37 | 6.46 | 5.89 | 5.18 |
| | Oxygène et divers | 4.89 | 2.56 | 4.98 | 6.79 | 11.68 | 3.60 |
| | | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| | | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 |
| Matières volatiles | | 23.80 | 27.50 | 16.30 | 34.90 | 34.30 | 15.50 |
| Carbone volatil (2) | | 13.28 | 18.73 | 5.95 | 21.65 | 16.73 | 6.72 |
| Carbone fixe | | 76.20 | 72.50 | 83.70 | 65.10 | 65.70 | 84.50 |

(1) Le carbone fixe a été calculé par différence, en retranchant de 100 la somme des matières volatiles et des cendres.

(2) Le carbone volatil a été obtenu en retranchant du chiffre des matières volatiles la somme de l'hydrogène et de l'oxygène.

Digitized by Google

*Calcul de la puissance calorifique d'après l'analyse.* — 1° Avec la formule de Dulong, le nombre de calories dégagées par 1 kilogramme de charbon sec, sans cendres, sera

$$8080\ C + 29100 \left(H - \frac{1}{8}\ O\right) \text{ (1)}.$$

2° Avec la formule de M. Cornut indiquée comme préférable par M. Scheurer-Kestner (Recherches sur la combustion de la houille, *Rev. scientif.*, 7 avril 1888), la puissance calorifique indiquée ci-dessus deviendra

$$8080\ C_{(f)} + 11214\ C_{(v)} + 29100\ H \text{ (2)}.$$

TABLEAU III. — **Quantités de chaleur et d'eau à 12° vaporisée à la pression effective de 8 kil. 500, correspondant à 1 kilogramme de charbon sec, cendres non comprises.**

| | Calculé d'après la formule de Dulong. | | Calculé d'après la formule de M. Cornut. | | Obtenu sur une chaudière de locomotive au repos. (tirage dans la boîte à fumée = 60 à 70mm d'eau.) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Calories | Eau vaporisée | Calories | Eau vaporisée | Eau vaporisée. |
| | | kil. | | kil. | kil. |
| Menus lavés Carmaux... | 8691 | 13.402 | 9059 | 13.985 | Mélange des deux 8.064 |
| Menus bruts Carmaux... | 9085 | 14.010 | 9765 | 15.039 | |
| Menus lavés Graissessac. | 8626 | 13.302 | 8993 | 13.868 | 7.218 |
| Noisettes Campagnac.... | 8642 | 13.326 | 9568 | 14.754 | 8.149 |
| Menus Decazeville...... | 7949 | 12.258 | 8899 | 13.700 | 6.755 |
| Menus Cardiff.......... | 8747 | 13.488 | 9089 | 14.015 | 7.855 |

(1) C, poids de carbone contenu dans 1 kilogramme de charbon sec sans cendres.
H, poids d'hydrogène — —
O, poids d'oxygène — —

8080 est le nombre de calories dégagées par 1 kilogramme de carbone pur transformé en acide carbonique. C'est l'ancien chiffre adopté par Favre et Silbermann et Scheurer-Kestner. En juin 1889, M. Berthelot a indiqué un nouveau chiffre, 8137.

29100 est le nombre de calories dégagées par la combustion de 1 kilogramme d'hydrogène transformé en vapeur d'eau. Ce chiffre correspond mieux à la réalité des faits que celui de 34500 calories, en prenant l'eau comme terme final de la combustion, car l'eau formée par la combustion part toujours à l'état de vapeur. On suppose tout l'oxygène combiné à l'hydrogène à l'état d'eau, et par suite la quantité correspondante de ce dernier ne dégage pas de chaleur.

(2) $C_{(f)}$, poids de carbone fixe contenu dans 1 kilog. de charbon sec sans cendres.
$C_{(v)}$, poids de carbone volatil contenu dans 1 kilog. de charbon sec sans cendres.
H, poids d'hydrogène total, sans tenir compte de celui qui pourrait être combiné à l'oxygène.

11214 est le nombre de calories dégagées par 1 kilogramme de carbone à l'état de vapeur.

Digitized by Google

Si on veut classer par ordre de valeurs calorifiques ces différents échantillons, on trouve que ce sont les résultats de la formule de M. Cornut qui cadrent le mieux avec ceux des essais pratiques de vaporisation. S'il n'y a pas concordance complète sur les noisettes Campagnac et les menus Carmaux, c'est parce qu'on n'a pu tenir compte de la supériorité du charbon Campagnac comme grosseur des morceaux, et des proportions des menus lavés et bruts dans le lot de Carmaux qui a servi aux essais de vaporisation.

M. Scheurer-Kestner a trouvé également que les chiffres fournis par la formule de M. Cornut se rapprochent plus des résultats du calorimètre que ceux de la formule de Dulong.

On peut donc, avec les données de l'analyse élémentaire et des matières volatiles, en se servant de la formule de M. Cornut, déterminer d'une manière assez satisfaisante la valeur calorifique relative d'un charbon. Les écarts signalés par MM. Scheurer-Kestner et Bunte entre les résultats de la méthode calorimétrique et ceux du calcul, sont d'ailleurs moindres que les divergences que j'ai observées entre plusieurs essais sur une même chaudière à vapeur.

On pourrait même, si on connaît pour une chaudière et une grosseur de charbon déterminées la différence entre la puissance calorifique et la vapeur produite, prévoir par les données de l'analyse la quantité d'eau qui sera vaporisée dans cette chaudière par un certain charbon de même grosseur.

Fait à remarquer, le grand écart existant sur le tableau III ci-dessus entre les données du calcul théorique et celles des essais de vaporisation n'est pas dû aux pertes de matières volatiles et de gaz combustibles fuyant par la cheminée. Ce fait a été vérifié par de nombreuses analyses de gaz de combustion prélevés sur la machine qui a servi aux essais cités plus haut. En voici quelques extraits :

*Analyses des gaz de combustion.* — Les prises d'échantillons étaient faites à l'entrée de la cheminée, au milieu du courant gazeux, à l'aide d'un gazomètre à eau de 15 litres et d'un aspirateur. Après écoulement total de l'eau du gazomètre, on laissait encore passer le courant gazeux pendant un temps égal à celui qu'avait nécessité l'écoulement de l'eau. La prise était arrêtée à chaque ouverture de la porte du foyer pour le chargement, afin de ne bien recueillir que les gaz ayant passé à travers la grille. Chaque prise avait une durée de 15 à 20 minutes. Il était prélevé généralement trois échantillons pendant la durée d'un essai de vaporisation où on brûlait 1,100 kilogrammes de houille. Les écarts

Digitized by Google

de composition de chacun de ces échantillons ayant été très faibles, les prises peuvent être considérées comme moyennes et faites dans de bonnes conditions.

Dans chaque échantillon on a dosé, à l'aide de la burette de Hempel, sur une prise de 100 centimètres cubes, l'acide carbonique, l'oxygène, l'oxyde de carbone et l'azote, ce dernier par différence. L'acétylène n'ayant jamais atteint qu'une très faible proportion, a été évalué approximativement, d'après le volume de précipité d'acétylure cuivreux obtenu en faisant passer 2 litres de gaz (débarrassé d'oxygène par barbotage dans du sulfate ferreux alcalinisé par la soude) dans une solution de chlorure cuivreux ammoniacal fraîchement préparé.

De nombreux essais ont été effectués, qu'il serait trop long et peu intéressant de rapporter ici; en voici seulement quelques exemples :

Tableau IV. — **Analyse des gaz de combustion des agglomérés de Carmaux à 10 p. 100 de cendres.**

| Dépressions dans la boite a fumée (évaluées en hauteur d'eau). | 20mm | 30mm | 40mm | 60mm | 80mm |
|---|---|---|---|---|---|
| | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 |
| Acide carbonique | 10.3 | 13.8 | 13.7 | 15.9 | 15.2 |
| Air { Oxygène | 2.7 | 3.6 | 3.3 | 1.6 | 1.9 |
| Air { Azote | 10.2 | 13.5 | 12.3 | 5.8 | 7.5 |
| Oxyde de carbone | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.7 |
| Azote restant et divers | 76.6 | 68.7 | 70.2 | 76.5 | 74.7 |
| Acétylène | » | » | traces tr. faibles | » | » |

**Analyse des gaz de combustion de charbons Graissessac, mélange de 25 p. 100 agglomérés et 75 p. 100 menus.**

| Dépressions dans la boite a fumée (évaluée en hauteur d'eau). | 20mm | 30mm | 40mm | 80mm |
|---|---|---|---|---|
| | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 |
| Acide carbonique | 13.4 | 13.6 | 13.4 | 9.5 |
| Air { Oxygène | 4.8 | 4.1 | 5.0 | 7.8 |
| Air { Azote | 18.0 | 15.4 | 18.8 | 29.3 |
| Oxyde de carbone | 0.9 | 0.6 | 0.1 | 1.6 |
| Azote restant et divers | 62.9 | 66.3 | 62.7 | 51.8 |
| Acétylène | traces. | traces. | traces très faibles. | traces. |

Il ressort clairement de ces essais que dans les locomotives, même pour des tirages très différents, les gaz recueillis contien-

Digitized by Google

nent, outre l'azote, beaucoup d'acide carbonique, peu d'oxygène et presque pas d'oxyde de carbone. Il n'y a eu d'exceptions à cette règle que dans les cas de combustions mal conduites où les rendements calorifiques ont été très faibles par suite d'inégalités de l'épaisseur du combustible sur la grille ou d'encrassement empêchant l'air d'arriver en quantité suffisante. La recherche de l'oxyde de carbone et de l'acétylène peut être utilisée comme moyen de contrôle pour savoir si la conduite du feu a été appropriée au combustible à essayer.

En 1853, MM. Ebelmen et Sauvage étaient arrivés aux mêmes résultats sur des locomotives chauffées au coke [1]. D'autres essais, conduits de manières différentes, exécutés dans plusieurs Compagnies françaises de chemins de fer, ont encore conduit aux mêmes conclusions.

Dans certaines limites, pour un foyer et un combustible donnés, la composition des gaz de combustion est indépendante du tirage quand le feu est bien conduit; c'est la vitesse de combustion qui varie. Le rendement calorifique est influencé par la perte de chaleur du fait de l'entraînement gazeux et de l'excès de température sur l'enceinte extérieure. Ce résultat d'expérience est d'accord avec le calcul théorique.

*Composition et nature des cendres.* — Dans les foyers à tirage forcé comme ceux de locomotives où la combustion est très vive et la température très élevée, la nature des cendres a une importance capitale. Un charbon peu cendreux, mais à cendres fusibles, pourra être beaucoup plus mauvais qu'un charbon analogue très cendreux, mais à cendres peu fusibles.

Pour se renseigner à cet égard, la première chose à faire sera l'analyse complète des cendres d'après les méthodes indiquées pour l'analyse des silicates. Mais comme cette opération est longue, il est nécessaire d'avoir un moyen d'essai plus rapide, si on a de nombreux échantillons à examiner.

Voici la méthode que j'emploie; les résultats en sont réguliers et les conclusions faciles à tirer.

On prend $0^{gr}5$ à $0^{gr}6$ de cendres obtenues par incinération au four à moufle du charbon à examiner, on les met dans un petit creuset en terre réfractaire n° 0 et on chauffe dans le four Leclerc et Forquignon à plein feu pendant quinze à vingt minutes. Au bout de ce temps, les cendres de nature fusible forment une scorie fondue, quelquefois même un émail au fond du creuset, les bonnes

(1) Couche, *Exploitation des chemins de fer*, t. III, liv. IV, p. 38.

Digitized by Google

cendres ne donnant pas de mâchefer sont simplement agglomérées ou frittées sans apparence de fusion.

Tableau V. — **Analyse des cendres de quelques combustibles.**

| | Menus bruts Graissessac. | Menus lavés Graissessac. | Menus bruts Carmaux. | Menus lavés Carmaux. | Menus Decazeville. | Menus anglais Cardiff. | Menus lavés Bousquet d'Orb. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cendres p. 100 de charbon........... | 9.70 | 10.20 | 11.45 | 9.50 | 7.50 | 11.00 | 12.15 |
| COMPOSITION DES CENDRES. | | | | | | | |
| Silice ............. ............... | 36.30 | 45.70 | 42.60 | 55.40 | 48 70 | 45.60 | 45.10 |
| Alumine ........................ | 28.60 | 34.10 | 35 » | 35.20 | 26.80 | 32.40 | 28.10 |
| Sesquioxyde de fer.................. | 9.30 | 5.20 | 3.40 | 2.20 | 13.70 | 9.00 | 11.00 |
| Chaux ........................... | 10.00 | 5.20 | 5.10 | 2.20 | 2.50 | 3.60 | 4.30 |
| Magnésie........................... | 5.10 | 2.30 | 3.90 | 1.30 | 1.60 | 2.00 | 1.80 |
| Alcalis et divers ............... .... | 10.70 | 7.50 | 10.00 | 3.70 | 6.70 | 5.40 | 9.70 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Essai de fusibilité au four Leclerc et Forquignon...................... | très fusible, scorie noire, très collante. | très peu fusible, scorie grise, frittée. | assez fusible, scorie très collante. | très peu fusible, scorie blanche, frittée | fusible scorie brun rougeâtre, collante. | peu fusible | fusible, scorie noire, presque entièrt fondue, collée au creuset. |

Conclusions. — Les essais chimiques sur les charbons à vapeur peuvent donc se réduire, sauf cas particuliers, à ceux-ci :

*Examen rapide :* dosage des cendres, de l'humidité, des matières volatiles, examen du coke et essai de la fusibilité des cendres.

Dans la plupart des cas ces renseignements seront suffisants, mais pour connaître la puissance calorifique et faire une étude complète il faudra avoir recours à l'analyse complète.

L'*analyse complète* comprendra, outre les essais ci-dessus, l'analyse élémentaire de la houille et de ses cendres.

**Séance du 27 avril 1893.** — M. Hautreux présente des observations sur les cartes de l'Atlantique en 1892.

Le bureau hydrographique de Washington publie chaque mois, sous le nom de *Pilot-Chart,* des cartes contenant des renseignements sur les faits qui se sont produits à la surface de l'Atlantique Nord et ont pu modifier l'état habituel de l'Océan. Parmi ces

Digitized by Google

perturbations, les plus importantes ont trait aux mouvements des glaces, des coups de vent et des courants de la surface.

*Les glaces.* — En 1892, les glaces ont paru dans la première quinzaine d'avril, en retard de deux mois sur l'époque habituelle; vers le 1er mai, elles occupaient à la surface de l'Océan un espace équivalent à 19 carrés d'un degré de latitude de côté, et atteignaient la pointe Sud du Grand-Banc; dans le courant de mai et de juin, les glaces prirent une extension considérable, elles occupaient un espace équivalent à 48 carrés d'un degré; c'est-à-dire à la surface entière de la France; elles s'étendaient jusqu'au 43° de longitude Ouest, soit à moitié chemin entre la Manche et New-York. Au mois de juillet, les glaces avancées sont fondues, il n'en reste plus que quelques groupes aux environs du cap Race et vers le détroit de Belle-Isle; enfin au 1er août il n'en existe plus.

La période glaciaire de l'année 1892 a duré quatre mois en tout et le maximum d'extension a eu lieu en mai et juin.

Pour comparer 1892 avec les années précédentes, on peut considérer la durée glaciaire et l'étendue occupée par les glaces au Sud du 50° latitude Nord. On aurait le tableau suivant :

**Glaces vers le banc de Terre-Neuve.**

| | 1887 | 1888 | 1889 | 1890 | 1891 | 1892 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Durée glaciaire, en mois....... | 7 | 5 | 7 | 10 | 6 | 4 |
| Carrés d'un degré occupés en juin........................ | 37 | 12 | 27 | 72 | 39 | 34 |
| Somme des carrés occupés pendant les douze mois. | 175 | 49 | 96 | 368 | 154 | 141 |

On voit ainsi que l'année 1888 a été un minimum et l'année 1890 un maximum.

*Les coups de vent.* — Le nombre des dépressions signalées sur l'Océan en 1892 a été assez considérable. Les Pilot-Charts ne les enregistrent régulièrement que depuis 1888; on y relève les renseignements suivants :

**Nombre des dépressions de l'Atlantique Nord.**

| | 1888 | 1889 | 1890 | 1891 | 1892 |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre des dépressions..... | 74 | 82 | 101 | 127 | 122 |

Ces nombres vont en augmentant; peut-être n'est-ce dû qu'à ce fait que les observations sont de plus en plus multipliées. Toujours

Digitized by Google

est-il que 1892 fut une année à coups de vent, surtout vers les côtes d'Amérique où l'on a enregistré soixante-dix-huit coups de vent, parmi lesquels six cyclones tropicaux. Le mois d'octobre a été le plus mauvais; à lui seul il enregistre quatre cyclones. Sur ce grand nombre de dépressions américaines, une vingtaine au plus a traversé l'Atlantique et atteint les côtes d'Europe.

Pendant les six premiers mois de l'année, de hautes pressions se sont maintenues dans l'ouest de nos côtes, oscillant tantôt vers le Nord, tantôt vers le Sud. Dans le premier cas, les dépressions d'origine océanienne étaient déviées vers le Sud; elles atteignaient l'Espagne et y produisaient des inondations; dans le second cas, les coups de vent d'origine polaire traversaient la France en écharpe et amenaient des froids tardifs.

Août et septembre ont été très beaux et calmes sur l'Atlantique.

Octobre a été très troublé par suite de l'ébranlement cyclonique.

En décembre on a signalé d'énormes dépressions. Les cartes donnent les graphiques spéciaux des dépressions suivantes : 25 décembre 1891, 13 février 1892, 15-23 août 1892 et 22 décembre 1892 ([1]).

En examinant sur les cartes les directions suivies par ces dépressions, on voit que celles qui sont du côté américain ont des parcours affectant des formes régulières, généralement du S.-O. au N.-E. Il n'en est pas de même du côté européen, les déviations sont très fréquentes et sur les quarante-huit dépressions qui ont atteint nos côtes on en compte se dirigeant :

| | | |
|---|---|---|
| Du S. et S.-O. | vers le Nord...... | 18 |
| Du O.-S.-O et O.-N.-O. | vers l'Est......... | 15 |
| Du N.-O. et Nord | vers le Sud....... | 15. |

Ces dernières ont eu lieu lorsque les hautes pressions des Açores se prolongeaient vers le Nord jusqu'à l'Irlande.

*Les courants.* — Les cartes portent les parcours effectués par plusieurs épaves flottantes; c'est l'illustration la plus certaine des mouvements qui ont eu lieu à la surface des eaux.

1° Le *Wyer-G.-Sargent* et le *Fannie-Wolston* nous montrent le circuit océanique qui se produit au S.-O. des Açores suivant les impulsions des vents régnant à la surface.

2° Le *Daphné,* le *Vestalinden* et la *Comtesse-Dufferin* nous mon-

([1]) Cartes des ouragans des 21-28 novembre 1888 (en supplément).
Février 1892, Avril 1892, Juillet 1892, Février 1893 } Pilot-Charts.

trent une déviation remarquable des courants habituels au voisinage des côtes d'Europe : les eaux n'ont pas été poussées vers l'Écosse et la Norvège, elles sont descendues au S.-E. vers la Manche, depuis le mois de janvier jusqu'au mois d'avril, pendant que les hautes pressions existaient sur le Nord de l'Atlantique et que les dépressions marchaient aussi du N.-O. vers le S.-E.

3° Le *Calliope,* le *Capella,* le *Kong-Oscar-II,* le *Cubana* et le *Suprême,* montrent le mouvement des eaux en éventail rétabli à partir d'octobre, en même temps que les coups de vent suivaient la route ordinaire.

4° Sur les côtes d'Amérique, le *F.-Taylor* fut, dans un abordage, coupé en deux à quelque distance de l'île de Nantucket. Les deux parties séparées restèrent à flot pendant plus d'un mois; elles ont été entraînées toutes deux dans des directions absolument opposées.

L'anomalie la plus remarquable en 1892, c'est la poussée des eaux froides vers nos côtes, de janvier au mois d'avril. Une des conséquences de ce fait a été la pêche fructueuse des sardines de dérive, faite à cette époque par les pêcheurs de Bretagne.

*Climats de la Gironde.* — Nous présentons les coïncidences qui semblent se reproduire entre le climat de Bordeaux et l'état de l'Atlantique.

**Températures. — Jours de gelée.**

| Hiver de | 1882-83 | 1883-84 | 1884-85 | 1885-86 | 1886-87 | 1887-88 | 1888-89 | 1889-90 | 1890-91 | 1891-92 | 1892-93 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jours de gelées.... | 27 | 17 | 36 | 40 | 42 | 57 | 34 | 57 | 62 | 36 | 27 |

L'hiver de 1891-92 n'a eu que trente-six jours de gelée, il a été peu rigoureux; il correspond à une année où les glaces du Grand-Banc ont été fondues de bonne heure, comme en 1888. — Tandis que les années glaciaires 1887, 1890 ont produit des hivers très longs, l'année 1889 avait eu une seconde invasion glaciaire à l'automne, ce qui a rendu l'hiver 1889-90 long et rigoureux.

**Moyenne thermale mensuelle en 1892.**

| | Janvier. | Février. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Juillet. | Août. | Septembre. | Octobre. | Novembre. | Décembre. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Année 1892... | 5°47 | 6°84 | 6°25 | 11°49 | 15°72 | 19°13 | 20°85 | 22°00 | 18°40 | 12°35 | 10°66 | 4°69 |
| Moyenne de dix ans. | 4°74 | 6°41 | 7°99 | 10°93 | 14°83 | 18°37 | 20°06 | 20°29 | 18°32 | 12°69 | 8°99 | 5°16 |

Digitized by Google

On voit qu'en général la température de l'année 1892 a été plus élevée que la moyenne, surtout en août et novembre; il faut remonter aux années 1883 et 1884 pour trouver des faits du même genre. Par contre, le mois de mars a été très au-dessous de la moyenne. Cela concorde avec la poussée des eaux froides signalée à cette époque.

### *Pluviométrie.*

**Quantité d'eau recueillie à Floirac en 1892.**

| | Janvier. | Février. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Juillet. | Août. | Septembre. | Octobre. | Novembre. | Décembre. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| Pluie en 1892 . . | 47 | 84 | 47 | 45 | 22 | 18 | 62 | 60 | 62 | 160 | 53 | 77 |
| Moyenne depuis 1848. | 74 | 54 | 61 | 64 | 68 | 71 | 45 | 59 | 72 | 88 | 80 | 69 |

Les mois très pluvieux de 1892 ont été février et octobre. Pour le mois de février on a vu que les glaces étaient retardées dans leur descente; pour le mois d'octobre c'est le trouble cyclonique qui a été signalé déjà qui en est la cause.

Les mois secs ont été mai et juin, ce qui correspond à la grande extension glaciaire qui a eu lieu à cette époque.

Cette coïncidence entre l'état glaciaire au printemps et la pluviosité de notre région a été signalée depuis que les pilot-charts enregistrent les mouvements des glaces. Ainsi aux années glaciaires 1887 et 1890 correspondaient des printemps secs; et aux années pauvres en glaces, ou en retard sur l'époque ordinaire, ont eu lieu des printemps pluvieux comme en 1888 et 1889.

En résumé, l'influence océanienne s'exerce certainement sur notre climat et depuis ces dernières années il semble que l'on puisse noter les coïncidences suivantes: Nos hivers rigoureux et longs ont eu lieu dans des années où les glaces avaient été nombreuses et avaient persisté jusqu'à l'automne.

Nos hivers doux et courts se sont produits quand les glaces ont été fondues de bonne heure et n'avaient pas été abondantes.

Nos printemps ont été pluvieux lorsque les glaces sont arrivées en retard et en faible quantité sur le Grand-Banc, ou lorsque les coups de vent ont été nombreux sur l'Océan. Ils ont été secs dans les années de grande débâcle glaciaire, ou lorsque l'anti-cyclone des Açores a prolongé ses hautes pressions sur l'Irlande.

Nos étés subissent les mêmes influences, seulement les hautes

Digitized by Google

pressions de l'Océan produisent des calmes qui nous donnent les fortes chaleurs.

La fin de l'été et l'automne dépendent absolument des troubles atmosphériques de l'Atlantique, puisque les glaces sont fondues, et ces troubles sont liés aux accidents cycloniques de la région des tropiques.

Il est donc très intéressant d'être bien renseigné sur ce qui se passe à la surface de l'Atlantique. Les Américains nous donnent les indications sur le mouvement glaciaire; mais nous n'utilisons pas, comme eux, les renseignements apportés par les navires et nous ignorons les faits importants qui se produisent dans le voisinage immédiat de nos côtes. L'état barométrique de l'Europe est connu chaque jour; mais au delà du 12e méridien Ouest nous ne savons plus rien.

**Séance du 17 mai 1893.** — M. Bordier fait une communication sur deux nouvelles échelles d'acuité visuelle.

— M. Hautreux signale quelques particularités intéressantes relevées sur la carte de l'Atlantique, Pilot-Charts, du mois d'avril.

— M. Gayon, au sujet des vins mannités de la Gironde, présente des vins authentiques de cette provenance qui renferment de la mannite, ce qui confirme les observations de M. Blarez.

— M. Brunel fait ensuite une communication sur un théorème dû à de Mairan et relatif aux octaèdres inscrits dans un cube donné. De Mairan a montré, par des considérations géométriques assez délicates, que le lieu des sommets de l'octaèdre sur une des faces du cube était une hyperbole. La démonstration analytique ne présente pas de difficultés. Elle fournit rapidement les quatre hyperboles qui, sur une face du cube, constituent l'ensemble du lieu, et permet d'établir la correspondance qui existe entre les points correspondant à un même octaèdre, qui fournissent les sommets placés sur les différentes faces du cube. Analytiquement, la proposition de de Mairan peut être énoncée comme il suit:

Si entre les équations

$$\lambda^2 + \mu^2 = \nu^2 + \rho^2 = \sigma^2 + \tau^2,$$
$$\nu + \lambda + \mu\rho = 0,$$
$$\tau + \rho + \nu\sigma = 0,$$
$$\mu + \sigma + \lambda\tau = 0,$$

on élimine les quantités $\nu$, $\rho$, $\sigma$ et $\tau$, le résultat de l'élimination se présente sous la forme

$$(\lambda\mu + \lambda + \mu)(\lambda\mu - \lambda + \mu)(\lambda\mu + \lambda - \mu)(\lambda\mu - \lambda - \mu) = 0.$$

Digitized by Google

**Séance du 1^er^ juin 1893.** — M. Bordier continue devant la Société la série de ses communications sur l'acuité visuelle, et parle en particulier de l'acuité visuelle vraie et apparente.

— M. Pérez fait une communication sur la présence des termites à Bordeaux; il signale leur existence en différents endroits, et tout particulièrement à la Préfecture. Ces termites paraissent être les mêmes que ceux qui ont effectué à Rochefort et à La Rochelle de si grands ravages.

M. Pérez croit même qu'ils ne diffèrent point de ceux qui vivent dans les Landes à l'intérieur des souches de pins.

— M. Boulouch fait une communication sur un phénomène de dédoublement des franges d'interférence en lumière naturelle.

I. — Au cours de ses expériences, devenues classiques, sur les interférences produites au moyen de la flamme de l'alcool salé, M. Fizeau a observé pour la première fois des disparitions périodiques dues à la superposition des deux systèmes de franges correspondant aux deux radiations distinctes, de longueur d'onde peu différente, émises par cette flamme.

Il est possible de voir simultanément les deux systèmes de franges si l'on se place dans des conditions fournies par l'examen des formules d'Airy.

Si la lumière est polarisée dans l'un des azimuts principaux (le cas de la lumière naturelle se déduit sans difficulté de ce cas particulier, à cause de l'absence de différence de phase entre les composantes principales), l'intensité de la lumière réfléchie par une lame mince est donnée par la formule

$$I = a^2 \frac{2h^2(1-\cos\delta)}{(1-h^2)^2 + 2h^2(1-\cos\delta)}$$

(dans laquelle $a^2$ est l'intensité de la lumière primitive, $h$ le facteur de réflexion, et $\delta$ la différence de marche due au passage à travers la lame), pour la lumière de longueur d'onde $\lambda$; et on a de même

$$I' = a'^2 \frac{2h^2[1-\cos(\delta-\mu\delta)]}{(1-h^2)^2 + 2h^2[1-\cos(\delta-\mu\delta)]}$$

pour la lumière de longueur d'onde $\lambda'$, $\mu$ étant un facteur très petit. Si l'on fait varier $\delta$ d'une manière continue en lui faisant prendre des valeurs suffisamment grandes, $\mu\delta$ peut prendre successivement les deux séries de valeurs

(1) $0 \quad 2\pi \quad 2n\pi,$

(2) $\pi \quad 3\pi \quad (2n\pi)\,\pi;$

Digitized by Google

d'ailleurs, si dans le voisinage d'une de ces valeurs attribuée à $\mu\delta$ on fait varier $\delta$ de $2p\pi$ à $2(p+1)\pi$, on pourra négliger, à cause de la petitesse de $\mu$, les variations de $\mu\delta$.

Cela posé, l'intensité du faisceau réfléchi contenant les deux radiations $I + I'$ sera, si l'on donne à $\mu\delta$ l'une des valeurs de la 1re série,

$$I + I' = (a^2 + a'^2)\frac{2k^2(1-\cos\delta)}{(1-k^2)+2k^2(1-\cos\delta)};$$

on obtient le même système de franges qu'avec une radiation unique, $\delta$ variant de $2p\pi$ à $(2p+2)\pi$; le maximum unique pour pour $\delta = (2p+1)\pi$ est compris entre deux minima nuls.

Si, au contraire, $\mu\delta$ prend une des valeurs de la 2e série, on a

$$I + I' = a^2\frac{2k^2(1-\cos\delta)}{(1-k^2)^2+2k^2(1-\cos\delta)} + a'^2\frac{2k^2(1+\cos\delta)}{(1-k^2)+2k^2(1+\cos\delta)},$$

et pour les valeurs de $\delta$

$$2p\pi,\quad 2p\pi+\frac{\pi}{2},\quad 2p\pi+\pi,\quad 2p\pi+\frac{3\pi}{2},\quad (2p+2)\pi;$$

l'intensité totale prend les valeurs

$$a'^2\frac{4k^2}{(1+k^2)^2},\ (a^2+a'^2)\frac{2k^2}{1+k^4},\ a^2\frac{4k^2}{(1+k^2)^2},\ (a^2+a'^2)\frac{2k^2}{1+k^4},\ a'^2\frac{4k^2}{1+k^2)^2}.$$

Dans les expériences de Fizeau, $k$ est une quantité très petite, comme d'ailleurs $a$ et $a'$ sont peu différents, la valeur de $I + I'$ est sensiblement constante et voisine de $4a^2k^2$, les franges disparaissent.

Mais si, au contraire, $k$ peut prendre des valeurs assez grandes et devenir voisin de l'unité, il est aisé de voir que $I + I'$ présentera deux maxima identiques, séparés par des minima peu différents l'un de l'autre, mais jamais nuls; le nombre des franges sera doublé.

On obtiendrait des résultats identiques pour la lumière transmise, puisque les anneaux transmis sont complémentaires des anneaux réfléchis.

Digitized by Google

On pourra parvenir à rendre la quantité $k$ sensiblement plus grande que zéro de plusieurs manières :

1° Dans la production des franges d'une lamelle de verres sous une incidence presque rasante, si l'épaisseur de la lamelle est telle que pour les grandes incidences l'épaisseur optique corresponde à une valeur de $\mu\delta$ voisine de $(2n+1)\frac{\pi}{2}$, on aperçoit, soit en employant une fente parallèle aux franges, soit en visant exactement les points du plan de localisation, les franges dédoublées avec netteté dans la lumière réfléchie.

2° Le dédoublement des franges pourra encore être obtenu en lumière transmise, et sous l'incidence normale, en augmentant le pouvoir réflecteur des surfaces qui limitent la lame mince; il suffira de produire des anneaux entre deux lames transparentes recouvertes d'une couche d'argent assez mince pour que l'ensemble soit un peu transparent pour la lumière du sodium; en éloignant les deux surfaces, les anneaux dédoublés apparaissent, pour une épaisseur convenable de la lame, singulièrement nets.

Bien que l'on ait affaire à la réflexion métallique, les conclusions précédentes sont applicables, puisque l'incidence est normale.

II. — Un dédoublement qui n'est pas sans analogie avec le précédent peut être produit à l'aide d'une lumière rigoureusement monochromatique. En observant les franges réfléchies fournies par une lamelle argentée sur sa face postérieure, on remarque que ces franges naturellement pâles sous l'incidence normale, se dédoublent en devenant plus nettes aussitôt que l'incidence devient presque rasante.

L'explication de ce phénomène est comparable à celle qui vient d'être donnée; l'intensité de la lumière réfléchie résulte de la formule [1]

$$I = a^2\left(\frac{h^2+h_1^2+2hh_1\cos\delta_1}{1+2hh_1\cos\delta_1+h^2h_1^2}+\frac{k^2+k_1^2+2kk_1\cos(\delta_1-\varepsilon)}{1+2kk_1\cos(\delta_1-\varepsilon)+k^2k_1^2}\right),$$

$\varepsilon$ étant la différence de phase des deux composantes principales après la réflexion; les facteurs $h, k, h_1, k_1$ relatifs, les premiers à la réflexion air-verre, les derniers à la réflexion verre-métal, ne sont du même ordre de grandeur que sous l'incidence rasante.

Pour l'incidence normale $\varepsilon = 0$; si l'on introduit cette hypo-

[1] Voy. Mascart, *Optique*, t. II, p. 506.

Digitized by Google

thèse dans la valeur de I, et si l'on donne à $\delta_1$ les valeurs successives $2p\pi$, $2p\pi + \frac{\pi}{2}$, $(2p+1)\pi$, $2p\pi + \frac{3\pi}{2}$, $(2p+2)\pi$, on obtient pour I

| $\delta_1$ | I |
|---|---|
| $2p\pi$, | $a^2\left[\frac{(h+h_1)^2}{(1+hh_1)^2} + \frac{(k+k_1)^2}{(1+kk_1)^2}\right]$, |
| $2p\pi + \frac{\pi}{2}$, | $a^2\left[\frac{h^2+h_1^2}{1+h^2h_1^2} + \frac{k^2+k_1^2}{1+k^2k_1^2}\right]$, |
| $(2p+1)\pi$, | $a^2\left[\frac{(h_1-h)^2}{(1-h^2h_1)^2} + \frac{(k_1-k)^2}{(1-kk_1)^2}\right]$, |
| $2p\pi + \frac{3\pi}{2}$, | $a^2\left[\frac{h^2+h_1^2}{1+h^2h_1^2} + \frac{k^2+k_1^2}{1+k^2k_1^2}\right]$, |
| $(2p+2)\pi$, | $a^2\left[\frac{(h+h_1)^2}{(1+hh_1)^2} + \frac{(k+k_1)^2}{(1+kk_1)^2}\right]$. |

$\delta_1$ variant de $2\pi$, on rencontre un minimum unique, peu accentué; $h$ étant petit par rapport à $h_1$ ce minimum correspond à

$$\delta_1 = (2p+1)\pi.$$

Pour l'incidence rasante $\varepsilon$ est égal à $\pi$ et prend des valeurs peu différentes si l'incidence reste grande; si l'on fait $\varepsilon = \pi$ dans la valeur de I, et si on donne à $\delta_1$ les mêmes valeurs que précédemment, on obtient le tableau suivant :

| $\delta_1$ | |
|---|---|
| $2p\pi$, | $a^2\left[\frac{(h+h_1)^2}{(1+hh_1)^2} + \frac{(k_1-k)^2}{(1-kk_1)^2}\right]$, |
| $2p\pi + \frac{\pi}{2}$, | $a^2\left[\frac{h^2+h_1^2}{1+h^2h_1^2} + \frac{k^2+k_1^2}{1+k^2k_1^2}\right]$, |
| $(2p+1)\pi$, | $a^2\left[\frac{(h_1-h)^2}{(1-hh_1)^2} + \frac{(k_1+k)^2}{1+k^2k_1^2}\right]$, |
| $2p\pi + \frac{3\pi}{3}$, | $a^2\left[\frac{h^2+h_1^2}{1+h^2h_1^2} + \frac{k^2+k_1^2}{1+k^2k_1^2}\right]$, |
| $(2p+2)\pi$, | $a^2\left[\frac{(h+h_1)^2}{(1+hh_1)^2} + \frac{(k_1-k)^2}{(1-kk_1)^2}\right]$, |

L'inspection des valeurs de I montre que dans la variation considérée de $\delta_1$ on rencontre deux maxima identiques

$$2p\pi + \frac{\pi}{2}, \quad 2p\pi + \frac{3\pi}{2},$$



Digitized by Google

séparés par des minima

$$2p\pi \quad (2p+1)\pi \quad (2p+2)\pi,$$

peu différents entre eux, et différant au contraire assez notablement des maxima.

L'expérience réussit aisément avec les flammes du lithium ou du thallium.

— M. Devaux présente à la Société un champignon énorme qu'il vient de recevoir de la Charente-Inférieure.

Ce champignon paraît être le *Polyporus squamosus* (Huds), *P. giganteus* (Hars). Il a été trouvé dans les environs d'Étaules (Charente-Inférieure), sur une souche d'ormeau, en mai. Il a été envoyé par M. Dupart, pharmacien à Étaules.

**Séance du 15 juin.** — M. Bordier, continuant la série de ses communications sur l'acuité visuelle, indique un mode de mesure de cette acuité au moyen de l'*optomètre* de M. Badal; puis il présente une nouvelle méthode de mesure du diamètre de la pupille.

La mesure du diamètre pupillaire présente de grandes difficultés. La mobilité de l'œil étant extrême, la pupille participe naturellement à tous ses mouvements; elle ne conserve que par moments l'immobilité nécessaire aux méthodes ordinaires de mensuration.

Aussi lorsqu'on vise l'une des extrémités d'un diamètre pupillaire par-dessus une règle graduée, on n'est jamais sûr que l'extrémité opposée corresponde encore au zéro de la graduation. L'iris qui entoure la pupille, présente le plus souvent une teinte foncée qui ne tranche pas beaucoup avec celle de la pupille elle-même. Il faut ajouter à ces difficultés de mesure les variations de la grandeur de la pupille produites par la modification de la quantité de lumière qui tombe sur l'œil, quand on en approche un instrument ou quand on dirige sur l'œil des rayons lumineux. L'accommodation modifie également ce diamètre. Enfin la pupille est un bon réactif des émotions morales; son diamètre est modifié par la douleur, la peur, etc.

On voit combien une bonne mesure demande de soins et quelles difficultés nombreuses on rencontre pour une évaluation précise. Aussi ne doit-on pas s'étonner de la multiplicité des pupillomètres; il en existe plus de quinze modèles différents.

Digitized by Google

Un inconvénient inhérent à tous ces appareils, c'est que pendant la mesure, qui demande toujours un certain temps, le diamètre de la pupille peut se modifier. Nous avons cherché un moyen plus commode et plus rapide que ceux indiqués jusqu'à aujourd'hui : ce moyen est la photographie de la pupille. Cette méthode, pour être exempte des inconvénients reprochés aux pupillomètres, avait besoin de demander un temps très court, afin de mesurer le diamètre pupillaire avant qu'une modification ait pu se produire. Pour pouvoir arriver à ce résultat lorsque la quantité de lumière reçue par l'œil est très faible, nous avons utilisé l'*éclair magnésique*. Une étude préalable de cet éclair était nécessaire, car sous l'influence de la vive lumière émise par la combustion du magnésium la pupille pouvait se rétrécir. Il fallait donc savoir si la durée de l'éclair était inférieure à celle du réflexe pupillaire. D'après les mesures de Listing, le réflexe pupillaire mettrait $\frac{2}{5}$ de seconde à se produire. Nous ferons remarquer en passant que de nouvelles déterminations de ce temps perdu de la pupille mériteraient d'être faites et notre méthode donnerait, croyons-nous, le moyen d'arriver à une bonne solution.

Nous avons mesuré la durée de l'éclair magnésique en utilisant le diapason à miroir de Lissajous. La trace du rayon réfléchi venait impressionner une feuille de papier en gélatino-bromure tendue sur un cylindre animé d'une vitesse assez grande. Le diapason effectuant 154 V. D. par seconde, nous avons trouvé comme durée de l'éclair un temps compris entre $\frac{1}{25}$ et $\frac{1}{20}$ de seconde : temps qui est 8 à 10 fois plus petit que celui du réflexe pupillaire.

Pour obtenir une exactitude aussi grande que possible, nous avons employé une chambre photographique à grand tirage, pouvant fournir une image agrandie de la pupille. Dans nos expériences le grossissement de l'appareil était égal à 2,9.

Enfin, la cornée formant une véritable loupe à travers laquelle apparaît la pupille, il fallait tenir compte de cet autre grossissement. Sachant que le rayon de courbure de la cornée est de 8 millimètres, que le plan pupillaire est à 4 millimètres en arrière du pôle de la cornée et que l'indice de réfraction de l'humeur aqueuse est de 1,336, on trouve pour la valeur de ce grossissement $\frac{31,78}{27,78}$.

Digitized by Google

Voici quelques-unes des mesures faites :

| | Diamètre de la pupille | | |
|---|---|---|---|
| | sur le cliché. | apparent. | réel. |
| A la clarté du jour.......... | 6mm5 | 2mm06 | 1mm8 |
| A une clarté moyenne....... | 13 » | 4, 48 | 3, 9 |
| Dans une obscurité relative.. | 22 » | 7, 58 | 6, 6 |

Nous nous proposons par cette méthode d'étudier la variation du diamètre de la pupille avec les intensités lumineuses.

— M. Chevastelon entretient la Société des hydrates de carbone contenus dans les bulbes ou rhizomes de quelques monocotylédonées à l'état de vie ralentie.

Voici le tableau des résultats qu'il a obtenus :

| 1000 gr. de matières. | Amidon | Hydrates de carbone solubles. | | | Rapport lévulose / glucose. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Inuline. | Sucre de canne | Sucres réducteurs totaux. | |
| | | gr. | | | |
| Ail.............. | pas | 215 | pas | 236.5 | 236 |
| Échalote......... | — | 63 | 31.66 | 102.7 | 5.2 |
| Oignon.......... | — | » | 6.46 | 39.55 | 0.98 |
| Scille mantina.... | — | 105 | » | 115.5 | 110 |
| Jacinthe.......... | amidon | 104 | » | 114.4 | 114 |
| Tulipe........... | — | 15.56 | 30.88 | 48.75 | 2 |
| Lys.............. | — | » | non dosé | 51.69 | 1.13 |
| Asphodèle. ...... | pas | non dosée | ? | 53 | 3.7 |
| Amarillys........ | amidon | » | 6.43 | 6.71 | 1 |
| Narcisse......... | — | » | non dosé | » | » |
| Tubéreuse........ | pas | 36 | » | 39.6 | 39 |
| Iris.............. | amidon | » | 6.21 | 30 | 1.14 |
| Glaïeul.......... | — | » | 6.77 | 16.9 | 1.1 |
| Crocus.......... | — | » | » | » | » |
| Balisier.......... | — | » | » | 7.3 | 4 |
| Arsim........... | — | » | » | 9.4 | 0.63 |

Ces végétaux diffèrent donc par la nature et par les proportions des hydrates de carbone de réserve.

M. Chevastelon a ensuite étudié l'inuline extraite de l'ail; ses propriétés sont celles de l'inuline extraite du topinambour ou du dalhia, sauf une hygroscopicité plus grande et une très grande solubilité. Tandis que l'inuline de topinambour est soluble à 1 gramme pour 1,000 centimètres cubes d'eau, l'inuline de l'ail est soluble en toute proportion.

Digitized by Google

Il a retrouvé cette inuline soluble, ainsi que l'indique le tableau ci-dessus, dans des genres et même des familles différentes.

Elle existe également, mais en proportions très faibles, dans les tubercules de topinambour à l'état de vie latente.

— M. Brunel présente quelques remarques sur le saut du cavalier sur l'échiquier.

Il a montré précédemment que la détermination des différents trajets du cavalier revient au développement d'un déterminant du 64ième ordre. Il est vrai que le déterminant est un déterminant symétrique gauche, en sorte que le développement se simplifie considérablement, mais le travail nécessaire pour en écrire tous les termes demanderait encore de longues et laborieuses journées.

On peut se demander quels sont les trajets qui ne changent point lorsqu'on fait subir à l'échiquier une rotation de 90 degrés autour de son centre. Il est vrai qu'alors le trajet n'est pas simple, il est formé de plusieurs traits; mais, telle qu'elle est, la question paraissait assez intéressante pour la traiter complètement.

On considère les quatre cases déduites d'une case par des rotations successives de 90 degrés, comme constituant un seul objet. Les 64 cases de l'échiquier se ramènent ainsi à 16 groupes de 4 cases, les groupes étant reliés entre eux par la marche connue du cavalier. On écrit le tableau des liaisons de ces 16 groupes et il suffit de développer le déterminant symétrique gauche du 16ième ordre ainsi obtenu pour trouver dans chaque terme qui ne contient pas de carré un ensemble de trajets passant par toutes les cases. Le développement est relativement facile et a été mené jusqu'au bout.

Parmi les trajets ainsi obtenus, le nombre des traits distincts dont l'ensemble passe par toutes les cases de l'échiquier varie depuis deux jusqu'à seize.

M. Brunel présente les tracés correspondant aux solutions où la symétrie est encore plus complète que ne l'indiquait l'énoncé primitif, trajets qui se reproduisent non seulement par une rotation de 90 degrés, mais aussi par réflexion sur une diagonale. On obtient alors 28 figures des plus élégantes.

**Séance du 29 juin 1893.** — M. Devaux expose les résultats qu'il a obtenus dans l'étude de l'hypertrophie des lenticelles. Il présente à la Société quelques plantes sur lesquelles il a obtenu un développement exagéré de lenticelles, analogue à celui qu'il a

Digitized by Google

déjà observé sur le tubercule de pomme de terre ([1]), et dont il montre un nouvel exemplaire. Un jeune *chêne,* encore pourvu de ses cotylédons, avait été arraché et planté dans l'eau; aujourd'hui la presque totalité de la surface de la racine ancienne et de la région hypocotylée est couverte de protubérances énormes, ayant l'apparence d'une pâte solide sortie sous pression à travers des fentes. Ces protubérances représentent des lenticelles hypertrophiées. Elles sont formées d'un tissu blanc d'abord, brillant à cause de l'air retenu entre les cellules, devenu brun plus tard à la lumière. Le diamètre de l'ancienne racine est plus que triplé.

Pendant son séjour dans l'eau, la plante a émis plusieurs racines dont une, longue et forte, n'a pas tardé à développer des lenticelles très proéminentes. Toutefois, ces lenticelles sont beaucoup plus minces que dans le cas précédent. M. Devaux a obtenu simultanément ces transformations sur plusieurs pieds de chêne. Il en a obtenu d'analogues sur des rameaux de *saule.* Les lenticelles arrivent à un développement semblable, mais elles sont beaucoup moins nombreuses, de sorte que chacune ressemble à un organe particulier qui pousserait sur la branche. Une branche de *sureau,* également présentée à la Société, a fait éclater ses lenticelles et développé leurs tissus d'une manière considérable après un séjour de huit à dix jours seulement dans l'eau. Indépendamment de ces sujets, que M. Devaux montre à la Société, des lenticelles hypertrophiées ont été observées sur la plupart des plantes que l'on a forcées à vivre en partie sous l'eau : Tiges de lierre *(Hedera helix),* de vigne vierge *(Ampelopsis hederacea),* de *Gleditschia,* etc., racines de pêcher *(Amygdalus persica),* de *Philodendron,* de *Pandanus,* etc. L'auteur a observé que les lenticelles se sont spontanément développées chez ces deux dernières plantes, sur les grosses racines qui arrivent à végéter dans l'eau des bassins de la serre du Jardin-Public, à Bordeaux.

Quelques plantes paraissent refuser absolument de développer ainsi des lenticelles, en particulier la vigne *(Vitis vinifera).* Ce fait est d'autant plus remarquable que les plantes du genre voisin, *Ampelopsis,* en développent un très grand nombre. M. Devaux a institué des expériences en cours d'exécution pour déterminer le degré de généralité des faits qu'il a observés.

([1]) Voyez Devaux, *Hypertrophie des lenticelles chez la pomme de terre et quelques autres plantes (Bull. de la Société Botanique de France,* t. XXXVIII, 1891, p. 48.)

Digitized by Google

La rapidité avec laquelle se produit le développement exagéré des lenticelles paraît dépendre au premier chef du degré de turgescence de l'organe, comme le montre nettement la pomme de terre. Cette vitesse est plus grande pour la partie antérieure du tubercule que pour la partie postérieure, où se trouvait le point d'attache. Il est facile de s'assurer que la turgescence de ces deux parties n'est pas la même, la première étant toujours plus turgescente.

Il semble que le phénomène ne se résume pas à une simple hypertrophie des lenticelles. Le *périderme* tout entier arrive bientôt à y prendre part, tout particulièrement chez la pomme de terre. L'anatomie de ces productions, commencée par M. Devaux, semble montrer que l'on a affaire à une modification profonde du périderme, et que les tissus formés, peu ou point subérifiés, pourvus de larges méats ou même de lacunes, se rapprocheraient beaucoup des tissus primaires formés pendant l'habitat aquatique, et étudiés par M. Costantin (1). On aurait affaire à une transformation semblable des *tissus secondaires* externes sous l'influence de l'eau.

— M. Chevastelon fait la communication suivante :

J'ai suivi le développement de trois espèces du genre Allium (ail, échalote, oignon), en analysant séparément, au point de vue des hydrates de carbone solubles seulement, l'extrémité des feuilles, la partie engainante des feuilles, et les bulbes à différents degrés de développement.

J'ai constaté que, dans les feuilles, le poids des sucres réducteurs est le même avant et après l'action des acides; leur composition est très voisine de celle du sucre interverti. Les différences sont seulement quantitatives.

Dans la partie engainante, il y a déjà accumulation des produits formés dans les feuilles; ils ont déjà pris leur forme non assimilable, car le poids des sucres réducteurs a augmenté après l'action des acides. L'excès croissant de lévulose accuse aussi un changement de composition.

Dans les bulbes jeunes on retrouve des sucres réducteurs et des hydrates de carbone non réducteurs en proportion plus grande que dans la région engainante.

Dans les caïeux d'ail et les bulbes d'échalote, le poids des

(1) Costantin, *Structure de la tige des plantes aquatiques (Annales des Sciences naturelles*, 1884), et autres numéros parus dans le même recueil.

réserves croît d'une manière continue à mesure qu'ils approchent de l'état de maturité. Le poids de lévulose en excès sur le poids du glucose croît comme celui des réserves. Mais, tandis que dans l'échalote le poids du glucose reste constant à partir d'un certain moment, dans l'ail il décroît jusqu'à zéro. Dans ce dernier cas, on ne trouve plus après l'action des acides que du lévulose, et la réserve est constituée uniquement par de l'inuline soluble. Dans l'échalote, il y a en même temps du sucre de canne et de l'inuline; mais le poids du sucre de canne étant, comme celui du glucose qui en provient, à peu près constant, la formation de la réserve est due surtout à l'accumulation de l'inuline.

Dans l'oignon, le poids des réserves passe par un maximum pour diminuer ensuite; le poids des sucres réducteurs existant avant l'action des acides croît au contraire d'une manière continue; il y a donc transformation de la réserve antérieurement accumulée.

Dans les sucres réducteurs totaux, le poids du lévulose, d'abord en excès, diminue et devient égal à celui du glucose dans des bulbes récoltés depuis quelques mois.

Le poids d'inuline varie nécessairement dans tous les cas, comme le poids de lévulose en excès sur le poids de glucose.

On peut déduire de là :

Que les deux corps lévulose et glucose formés dans les feuilles sont traités par la plante de manières différentes. Ils sont transformés tous deux, mais avec des vitesses inégales : le glucose disparaît plus vite que le lévulose.

Si la dépense en glucose est inférieure à la recette, le glucose restant, en se combinant à un poids égal de lévulose, se met en réserve sous forme de sucre de canne, et l'excès de lévulose passant à l'état non assimilable, donne de l'inuline. Ce sont les résultats fournis par l'échalote et l'oignon.

Si la dépense en glucose est, à partir d'un certain moment, supérieure à la recette, il disparaît en totalité, et le lévulose donnant, par déshydratation, de l'inuline, ce dernier corps constitue à lui seul toute la réserve. C'est le cas de l'ail.

Mais dans l'oignon le phénomène se complique : une partie des réserves accumulées par le végétal au début de son existence sont retransformées à nouveau; après avoir marqué pour le glucose une préférence très nette, il l'oublie pour ainsi dire, lorsque ce corps a atteint dans le mélange une certaine proportion, et s'attaque au lévulose qu'il fait disparaître jusqu'à ce que son poids devienne

Digitized by Google

égal à celui du glucose ; à ce moment le bulbe renferme, comme les feuilles, du sucre interverti. L'oignon a donc une préférence alternative pour le glucose et le lévulose.

Les résultats sont de même nature que ceux constatés par Dubrunfaut, étudiés par MM. Bousquelot, Gayon et Dubourg, sur ce que Dubrunfaut avait appelé la *fermentation élective des sucres*.

**Séance du 13 juillet 1893.** — M. Bordier, dans une nouvelle communication, étudie la variation de l'acuité visuelle avec l'âge.

— MM. Gayon et Dubourg en étudiant, à leur tour, les vins mannités, ont pu cultiver le ferment mannitique en dehors du ferment alcoolique, et obtenir l'hydrogénation abondante du sucre interverti. Des deux éléments, glucose et lévulose, qui constituent ce sucre, c'est le lévulose qui donne le plus facilement de la mannite.

— M. Brunel a déjà eu l'occasion d'entretenir la Société des configurations régulières tracées sur une surface de genre $p$.

Il a montré que le nombre des configurations régulières était égal à 25 lorsque $p = 2$. Il n'y a que dans les cas où $p$ est égal à 0 ou à 1 que le nombre en est infini; propriété topologique qui se trouve en relation étroite avec une propriété analytique des plus importantes dans la théorie des fonctions.

Il s'occupe aujourd'hui des *configurations régulières à symétrie parfaite*. Lorsque $p$ est égal à 0, sur la sphère, par exemple, dès qu'une configuration est régulière, c'est-à-dire lorsque de chaque sommet partent le même nombre d'arêtes, et lorsque chaque face est bordée par le même nombre d'arêtes, la configuration est à symétrie parfaite. Il n'en est plus de même lorsque $p$ est quelconque.

L'aspect de la configuration relativement aux différents sommets, ou bien relativement aux différentes faces, peut fort bien varier avec le sommet ou la face considérée. Il y a donc lieu de définir pour chaque configuration régulière la symétrie dont elle jouit. On dira que la configuration régulière est à symétrie parfaite lorsque les aspects seront les mêmes pour les différents sommets et pour les différentes faces.

Supposons, par exemple, $p = 2$. Il existe alors une configuration régulière possédant 24 arêtes, 6 faces et 16 sommets. De chaque sommet partent 3 arêtes, et chaque face est octogonale. Mais la



Digitized by Google

façon dont les faces se bornent entre elles peut être représentée par le tableau qui suit :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 / | 3 | 3 | 5 | 6 | 4 | 4 | 6 | 5 |
| 2 / | 4 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 6 | 5 |
| 3 / | 1 | 5 | 1 | 3 | 2 | 5 | 2 | 3 |
| 4 / | 2 | 6 | 2 | 4 | 1 | 6 | 1 | 4 |
| 5 / | 1 | 3 | 1 | 6 | 2 | 3 | 2 | 6 |
| 6 / | 2 | 4 | 2 | 5 | 1 | 4 | 1 | 5 |

où le signe / se lit voisin de. Les faces 1, 3 et 5 sont de nature totalement différente, contrairement à ce qui se passe sur les polyèdres réguliers Eulériens.

En se plaçant à ce point de vue, M. Brunel passe en revue les différents polyèdres relatifs au cas de $p = 2$, et examine aussi quelques-unes des 36 configurations qui se présentent lorsque $p = 3$, des 46 que l'on rencontre pour $p = 4$.

Il y a lieu de remarquer qu'à une solution correspondant à une configuration régulière de l'équation d'Euler généralisée

$$F + S = A + 2(p - 2)$$

peuvent fort bien répondre plusieurs configurations. Les configurations Eulériennes se distinguent ici encore des autres.

Pour la question présente, la symétrie de chacune des configurations doit être étudiée à part; leur ordre de symétrie n'est, en général, pas le même.

**Séance du 27 juillet 1893.** — M. Hautreux expose à la Société les expériences qu'il a entreprises pour la détermination des courants marins dans le golfe de Gascogne.

Les expériences faites sur les courants du golfe de Gascogne au moyen de bouteilles accouplées se continuent; les paquebots des Messageries maritimes veulent bien apporter leur concours à l'œuvre entreprise par les vapeurs des Pêcheries d'Arcachon. Cela constitue deux séries distinctes d'expériences : les unes faites à petites distances de la côte des Landes, entre 15 et 20 milles, par des profondeurs de 50 à 60 mètres; les autres, faites au milieu du golfe, à une centaine de milles au large.

A la date actuelle, une vingtaine de ces bouteilles ont été recueillies à la côte, après une période d'immersion d'environ

Digitized by Google

quatorze jours pour les bouteilles des pêcheries et de vingt-quatre jours pour les bouteilles des Messageries.

Ces premiers résultats concordent avec ceux qu'avait obtenus le prince de Monaco dans ses belles expériences du yacht l'*Hirondelle*, en 1886, et aussi avec les trajets signalés sur le pilot-chart, de dix carcasses de navires coulés qui furent portées dans le golfe de Gascogne. Ils montrent que dans les mois de juin et de juillet, le mouvement des eaux a décrit une courbe assez accentuée du large vers l'est-sud-est, puis vers le sud-est, et enfin, près de terre, vers le sud-sud-est.

La vitesse de transport, très notable au large, environ 12 milles par vingt-quatre heures, diminue progressivement jusqu'auprès de la côte où elle n'est plus que de 2,5 milles par vingt-quatre heures, et doit être facilement modifiée par les vents régnants.

— M. Devaux fait à la Société une communication sur les tubercules radicaux du Redoul (*Coriaria myrtiflora*).

Digitized by Google

Digitized by Google

# DE

# L'ACUITÉ VISUELLE

PAR M. H. BORDIER

---

## INTRODUCTION

« Voir n'est autre chose que sentir un objet en dehors de soi et dans la direction même où il se trouve. C'est un toucher médiat, expressément géométrique. » (Giraud-Teulon.) (1)

Cette définition du mot *voir* n'est pas tout à fait exacte : nous ne voyons jamais les objets dans la direction où ils se trouvent. Il faudrait pour cela que nous fussions plongés dans le vide. L'œil a, au contraire, la propriété de prolonger les derniers rayons qui frappent sa cornée, en sorte que l'objet d'où émane la lumière, est vu au point de concours des prolongements de ces derniers rayons.

Pour que nous percevions nettement les objets extérieurs, trois conditions au moins sont nécessaires (2) :

1° L'image formée sur la rétine doit être nette;

2° L'objet doit être convenablement éclairé, pour que l'image rétinienne ait une intensité suffisante;

3° L'excitation de la rétine par les rayons qui viennent y former l'image de l'objet doit être transmise intégralement au cerveau.

L'image que forme un objet sur notre rétine est renversée. Depuis Képler, on s'est demandé comment l'œil peut voir *droit* au moyen d'images *à l'envers*. Cette question a soulevé bien

---

(1) *La Vision et ses Anomalies*, p. 96.
(2) Imbert, *les Anomalies de la Vision*, p. 1.



Digitized by Google

des hypothèses de la part des savants et des philosophes; nous ne les reproduirons pas ici. Cependant voici l'opinion de Giraud-Teulon [1] : « Le propre de la sensibilité rétinienne, son mode d'activité réactionnel spécial et inné, consiste en la propriété de sentir en dehors de nous, c'est-à-dire de rapporter l'impression à l'extérieur du moi... ; ce n'est donc pas cette image que *voit* ou *sent* le *sensorium*, c'est l'objet extérieur lui-même. — La sensation fait un avec la notion d'extériorité, tandis que l'image, faisant corps avec la rétine, serait sentie à la surface postérieure de l'œil, si c'était elle dont le sujet eût conscience. Le *sensorium* ne sent donc pas l'image, il ignore même l'existence du tableau rétinien : ce qu'il sent, c'est l'objet en dehors de lui, à distance. »

Récemment, un savant russe, Oziersko [2], a donné une explication plus satisfaisante. Cet auteur cherche à résoudre cette question par un entrecroisement des fibres du nerf optique qui se produirait entre la rétine et l'écorce cérébrale, et dont le résultat serait le même que si l'extrémité rétinienne de chaque fibre occupait au fond de l'œil une position symétrique de celle qu'elle occupe en réalité. Les conditions de la vision droite ne se trouvant pas réalisées dans les terminaisons du nerf optique pourraient l'être dans le stade de transmission ou dans le stade de l'activité cérébrale. Il semble bien probable, d'après Oziersko, que les conditions cherchées se réalisent pendant le stade de transmission; le point où se réalisent ces conditions serait, dit-il, d'autant plus près du cerveau que l'animal considéré occupe un rang plus élevé dans la série.

Cette explication est peut-être la vraie : quoi qu'il en soit, c'est sur l'écran rétinien que viennent se peindre les images des objets extérieurs.

Parmi les objets extérieurs que l'œil aperçoit simultanément, un seul est nettement perçu : c'est celui sur lequel se porte *l'attention*. Son image rétinienne correspond à une petite

---

(1) Giraud-Teulon, *Loc. cit.*, p. 96.
(2) *Revue générale d'ophtalmologie*, 1891, p. 542.

Digitized by Google

région anatomiquement remarquable, connue sous le nom de *macula lutea,* dont le centre est la *fovea centralis.* La rétine, en ce point, s'amincit en forme de vasque de fontaine, de façon à être réduite, en son centre, à la seule membrane de Jacob (cônes et bâtonnets). Cette localisation expresse de l'attention visuelle dans la fovea a été démontrée objectivement par Donders de la façon suivante :

1° Le sujet en observation recevant l'ordre de fixer son attention sur l'orifice central du miroir ophtalmoscopique, l'observateur constate que la tache jaune se présente toujours pour recevoir l'image de cet orifice ; 2° si, pendant l'observation, on ordonne au sujet de suivre *attentivement* la flamme d'une bougie qu'un assistant promène, l'observateur constate que l'image de cette flamme demeure constamment sur la *macula.*

C'est précisément pour faire former sur la tache jaune l'image des objets que nous dirigeons toujours notre regard vers l'objet ou le point que nous voulons voir distinctement.

« L'alouette que nous entendons chanter, perdue dans le bleu de l'espace (Gœthe), est perdue pour nous tant que nous ne parvenons pas à amener son image sur la *fovea* (Helmholtz) (1). »

Les éléments sensibles de la rétine sont les cônes et les bâtonnets ; ils peuvent fournir à l'œil un nombre presque infini de signes élémentaires.

Pour donner une idée de l'immense richesse de l'appareil visuel, rapprochons-en le langage parlé : les signes élémentaires de la langue se réduisent à 24 lettres seulement, et pourtant, quelle n'est pas l'extrême variété des idées que leurs combinaisons nous permettent d'exprimer ! Si nous estimons à 250,000 (chiffre fixé par Helmholtz) le nombre des fibres du nerf optique et si nous remarquons que chacune d'elles peut recevoir des degrés d'excitation infiniment variés provenant soit d'une, soit de trois couleurs fondamentales, nous sommes

(1) Helmholtz, Conférence d'Heidelberg sur les progrès récents dans la théorie de la vision, 1869.

Digitized by Google

forcés de conclure qu'il y a là de quoi former un système de combinaisons infiniment plus riche qu'avec les quelques lettres de notre alphabet, sans parler des variations si rapides que peuvent subir les images visuelles. Il ne faut donc pas s'étonner si le langage de nos sens, et en particulier celui de la vision, nous donne des renseignements infiniment plus détaillés, plus nuancés et plus individualisés que ne peut le faire la parole (1).

(1) Helmholtz, Conférence d'Heidelberg sur les progrès récents dans la théorie de la vision, 1869.

Digitized by Google

# I

## Du minimum separabile.

---

Tous les yeux ne sont pas également aptes à distinguer de petits objets, bien que les images rétiniennes soient également grandes et également nettes. La portée de la vue n'est pas synonyme de sa qualité : ainsi un œil myope ou œil brachymétrope a, par définition, la portée de la vue courte (βραχὺς, court; μέτρον, mesure). Il peut cependant avoir une excellente vue. On conçoit très bien que chaque œil ait sa ***sensibilité rétinienne propre,*** son *acuité visuelle propre*. Cette sensibilité particulière de la rétine pour chaque individu se retrouve pour les autres nerfs sensitifs. A ce point de vue, il existe une correspondance presque parfaite entre le sens de la vue et les quatre autres sens : l'ouïe, le goût, l'odorat, le toucher.

L'acuité de la vue correspond à la finesse de l'ouïe (acuité auditive); à la finesse du goût (acuité gustative); à la finesse de l'odorat (acuité olfactive); à la finesse du toucher (acuité tactile).

Toutes ces acuités se prêtent aux mesures et pourraient être traitées dans une même étude générale qui aurait pour titre : ***l'Acuité.***

Cette qualité du sens de la vue qui s'appelle l'acuité visuelle dépend de la faculté que possède notre œil de pouvoir isoler les sensations. Dès que l'animal, dit Giraud-Teulon ([1]), a dépassé le premier degré de développement oculaire, à partir de l'apparition du point visuel des animaux inférieurs (lequel se borne à distinguer la lumière de l'obscurité) jusqu'au merveilleux instrument d'optique qu'offre l'œil de l'oiseau de

---

([1]) *Loc. cit.*, p. 128.

Digitized by Google

proie, tous les efforts de la nature gravitent autour d'un seul objectif : d'abord, la distinction de la direction (apparente) des rayons lumineux, puis le perfectionnement graduel de cette distinction, s'accusant dans l'accroissement du nombre des éléments rétiniens.

On peut donc dire que la *faculté isolatrice* de la rétine grandit à mesure que de l'œil élémentaire on passe à l'œil composé.

L'inverse de l'angle formé par les deux directions les plus voisines que l'on peut isoler dans un œil, telle est la définition de la *faculté isolatrice* de la rétine.

L'angle correspondant à ces deux directions les plus voisines constitue ce que l'on nomme le *minimum visibile*. Giraud-Teulon, à cause de l'élasticité du mot *voir*, préfère l'appeler *minimum separabile*.

Le principe du *minimum separabile* a été formulé en 1759 par Hooke. « Le Dr Hooke, dit Porterfield, a trouvé, par des expériences aisées à répéter, que le minimum visibile dans la plupart des yeux est compris dans un angle de une minute. Il suit de là que toute chose distinguée est au plus de cette dimension angulaire : ainsi, toute étoile que l'œil découvre paraît être de cette étendue au moins, et cela se conçoit, quoique cependant lorsque nous venons à mesurer ses dimensions réelles au moyen du télescope, nous lui trouvions seulement une étendue de quelques secondes. Et cela est aussi la raison pour laquelle s'il existe 200 ou 300 étoiles, si rapprochées l'une de l'autre qu'elles soient comprises dans cet angle de une minute, l'œil n'a pourtant que la sensation d'une seule étoile et ne les distingue point l'une de l'autre [1]. »

La valeur de une minute indiquée par Hooke a été retrouvée un siècle plus tard par Giraud-Teulon et par Snellen qui ne connaissaient pas alors le traité de Porterfield.

Burchardt, de Cassel, aurait redécouvert, en 1870, ce même

---

[1] Porterfield, *A treatise of the eye*, 2e vol., p. 61.

Digitized by Google

principe du ***minimum separabile,*** car on retrouve dans son mémoire la proposition capitale qui forme la base du travail que Giraud-Teulon a présenté au Congrès d'ophtalmologie en 1862.

La largeur de la ligne correspondant à cette valeur du minimum separabile est de $0^{mm}1$ pour une distance de $0^{m}33$. La grandeur de l'image rétinienne formée dans ces conditions est de $0^{mm}004$.

D'autres expérimentateurs ont trouvé des valeurs beaucoup plus petites qu'une minute pour l'angle du minimum separabile. Ainsi Hirschmann, sur l'instigation d'Helmholtz, en 1867, obtint dans des conditions convenables un angle minimum visuel de 50 secondes ([1]).

Récemment Uthoff a repris ces mesures du minimum separabile, non seulement dans le cas de la lumière blanche, mais aussi dans le cas des différentes couleurs du spectre solaire. Il se servait ([2]) d'un grillage de fils de fer d'un diamètre égal à $0^{mm}0463$, séparés par des interstices de même largeur. Il trouva 1° que l'angle du minimum separabile était sensiblement le même dans les différentes régions du spectre; 2° que la valeur de cet angle était comprise entre 27"6 et 32"8; ce qui correspond à des images rétiniennes de $0^{mm}002$ et $0^{mm}00234$.

Cette valeur du minimum separabile est environ la moitié de celle indiquée par Giraud-Teulon et Snellen. Notons dès maintenant ce résultat, qui est conforme aux mesures d'acuité que nous avons faites. Uthoff, pour se rapprocher de la valeur trouvée avant lui pour ce minimum, ajoute qu'il croit que le plus petit objet perçu n'est pas représenté par le diamètre seul du fil, mais par un fil et son interstice : de cette façon il arriverait à obtenir l'angle de 1 minute. Nous ne pensons pas qu'il soit utile de faire cette restriction, et nous considérons l'angle de 30 secondes, comme représentant bien le minimum separa-

(1) De Wecker et Landolt, *Traité d'ophtalmologie*, p. 474, t. I.
(2) *Revue générale d'ophtalmologie*, 1891, p. 302.

Digitized by Google

bile, car l'acuité visuelle d'un bon œil correspond exactement à cet angle, pourvu que l'éclairage utilisé soit très bon.

L'angle de 30 secondes est aussi celui qu'adopte le professeur Charpentier, de Nancy (1). « Il était admis, dit-il, que le plus petit intervalle perceptible entre deux points lumineux était sur la rétine d'environ $0^{mm}004$. Or, j'ai observé que l'angle visuel minimum était réduit à une demi-minute et plus. L'opinion classique est donc fausse. »

D'ailleurs l'angle de 30 secondes répond sur la rétine à un arc de $0^{mm}0022$. Or, d'après les mensurations qu'on peut croire exactes (2), le diamètre des cônes dans la fovea est,

d'après M. Schultze, de 0,0020 à 0,0025
— H. Muller, de 0,0015 à 0,0020
— Welker, de 0,003 à 0,0036

On voit par là que les cônes sont assez petits pour répondre à l'exactitude des perceptions dont il s'agit.

(1) *Archives d'ophtalmologie*, t. II, p. 308.
(2) Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 226.

Digitized by Google

## II

### Définition de l'acuité visuelle. — Causes de ses variations. De l'œil réduit.

---

On divise l'acuité visuelle en acuité centrale et en acuité périphérique, suivant que la vision s'exerce à l'aide des parties centrales de la rétine (tache jaune), ou à l'aide des parties périphériques. La sensibilité de la rétine décroît rapidement à mesure qu'on s'éloigne de la *fovea centralis;* vers la région équatoriale, le degré d'acuité devient tellement faible qu'il ne subsiste plus là que la vision d'avertissement.

La définition de l'acuité visuelle, celle que nous adoptons, est la suivante : ***l'acuité visuelle d'un œil est l'inverse du plus petit angle sous lequel cet œil peut encore reconnaître la forme d'objets donnés.***

Si on désigne la valeur de cet angle par $\alpha$, on peut poser, d'après la définition,

$$V = \frac{1}{\alpha}.$$

La grandeur de ce plus petit angle $\alpha$ est fonction de la netteté de l'image rétinienne formée par l'objet vu sous cet angle.

Cette netteté de l'image dépend de quatre conditions principales :

1° De la grandeur de l'image rétinienne;

2° De l'éclairement de l'objet;

3° Du diamètre de la pupille;

4° De l'état de l'organe visuel.

---

(1) On a l'habitude de désigner l'acuité visuelle par la lettre V.

Digitized by Google

La grandeur de l'image rétinienne peut, malgré l'égalité de l'angle, être différente dans les différents yeux, selon la structure dioptrique de l'œil. Ainsi, pour un même angle visuel, les images rétiniennes sont très différentes, chez les yeux amétropes, de celles qu'elles sont chez l'œil emmétrope. L'influence des verres correcteurs sur la grandeur des images rétiniennes sera traitée avec détail dans le cours de cette étude.

La façon dont l'objet est éclairé est un des facteurs qui font le plus varier la netteté de l'image rétinienne et, par suite, l'angle $\alpha$. Nous consacrons un chapitre spécial à cette cause importante de la variation de l'acuité visuelle.

Le diamètre de la pupille intervient aussi dans la valeur minima de l'angle sous lequel un objet peut être vu nettement, à cause de l'aberration de sphéricité que la pupille tient sous sa dépendance et qui nuit à la netteté de la perception rétinienne. Nous étudierons d'une façon particulière l'influence de la grandeur de la pupille sur l'acuité visuelle.

Enfin, la netteté des images rétiniennes dépend encore de l'état de l'organe : on conçoit facilement que si les milieux réfringents de l'œil, humeur aqueuse, cristallin, corps vitré, ne sont pas d'une transparence parfaite, la valeur de l'angle $\alpha$ devra être plus grande que pour un œil sain. La qualité des éléments sensibles de la rétine agira de la même façon sur la netteté des images. Nous laisserons de côté, dans ce travail, les modifications de l'état de l'appareil visuel produites par les maladies, pour ne considérer que les modifications physiologiques ayant pour cause l'accroissement de l'âge.

Unité d'acuité visuelle. — En prenant pour base la valeur du minimum separabile telle que l'ont indiquée Hooke, Giraud-Teulon et Snellen, on a choisi comme unité d'acuité celle d'un œil capable de reconnaître, sous l'angle de 5 minutes, des caractères d'imprimerie dont l'épaisseur du trait est le cinquième de la hauteur : l'angle sous lequel chaque trait est vu est, par conséquent, d'une minute. Cette unité est, comme

Digitized by Google

toutes les autres, purement conventionnelle; elle n'a rien d'absolu. On pourrait tout aussi bien prendre comme base l'angle de 30 secondes : l'unité serait alors deux fois plus petite. Nous verrons qu'une telle unité répondrait bien mieux à l'acuité normale, physiologique.

Avant d'indiquer comment se mesure l'acuité visuelle, nous croyons utile d'exposer sur quelles données physiques sont établis les calculs qui ont trait à l'œil humain.

L'œil, au point de vue physique, est formé de trois dioptres convergents : le premier est la cornée; le second, la face antérieure du cristallin; le troisième, la face postérieure du cristallin.

Grâce aux méthodes imaginées et aux instruments sensibles que les physiciens et les ophtalmologistes ont aujourd'hui à leur service, on a pu effectuer, avec toute la rigueur et l'exactitude qu'elles exigent, les mesures des éléments dioptriques de l'œil.

*Courbures.* — C'est sur la cornée que le plus grand nombre de mensurations de courbure ont été effectuées. Cela tient, ainsi que le dit M. le professeur Imbert, dans son traité sur *les Anomalies de la Vision,* à la part importante qui revient à la cornée dans l'effet réfringent total de l'œil et surtout au défaut de symétrie que présente souvent le dioptre cornéen, défaut de symétrie qui est la cause d'une anomalie de réfraction très commune, l'astigmatisme.

Donders a trouvé des rayons de courbure variant chez les hommes de $8^{mm}396$ à $7^{mm}28$, et chez les femmes de $8^{mm}487$ à $7^{mm}115$.

Mauthner donne comme courbure moyenne de ses expériences $7^{mm}67$. Bourgeois et Tscherning ont constaté des courbures extrêmes de $8^{mm}92$ et une moyenne de $7^{mm}82$.

Digitized by Google

Pour la face antérieure du cristallin, on sait qu'elle varie à chaque instant dans le phénomène de l'accommodation : on a déterminé les courbures maxima et minima qui correspondent, la première à la vision à petite distance, la seconde à la vision des objets éloignés.

Les moyennes d'un grand nombre de déterminations ont conduit à admettre une courbure minima de 10 millimètres et maxima de 6 millimètres.

Enfin, le troisième dioptre, la face postérieure du cristallin, varie un peu de courbure pendant l'accommodation; les moyennes trouvées sont : courbure minima 6 millimètres, courbure maxima $5^{m}5$.

*Indices de réfraction.* — Ces mesures d'indice ne peuvent être prises que sur le cadavre. Cependant, M. H. Bertin-Sans [1] a pu, 2 h. 35 après la mort d'un supplicié de 23 ans, déterminer les indices de réfraction du cristallin; il a trouvé : couche externe 1,3845; couche moyenne 1,402; noyau 1,410, à 21°C.

60 heures après, l'autre cristallin ayant été conservé dans de l'humeur vitrée de bœuf, il a trouvé les mêmes nombres; ce qui prouve, comme Krause l'avait indiqué pour des yeux de veau, que les indices des différentes couches du cristallin humain peuvent conserver assez longtemps les mêmes valeurs.

L'indice de réfraction de l'eau étant pris égal à 1,3351, Helmholtz a trouvé, pour l'humeur aqueuse, 1,3365; pour l'humeur vitrée 1,3382; pour le cristallin (couche externe) 1,4189. L'indice de réfraction du cristallin étant variable suivant la couche considérée, on a cherché à mesurer l'indice se rapportant à chaque couche. W. Krause [2] a trouvé pour la couche externe 1,4053; couche moyenne 1,4294; noyau 1,4541. Helmholtz a pu calculer l'indice qu'il faudrait attribuer à une lentille homogène de même forme que la lentille cristallinienne

(1) *Montpellier médical*, t. II, 1893, p. 96.
(2) Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 104.

Digitized by Google

pour que son pouvoir dioptrique fût égal à celui de cette dernière. Cet indice total du cristallin est supérieur à celui du noyau cristallinien, ce qui prouve que le cristallin produit un effet réfringent supérieur à celui d'une lentille homogène de même forme dont l'indice serait égal à celui du noyau.

L'œil humain est-il un système centré? Helmholtz conclut que les trois dioptres constitutifs de l'œil ne sont pas *exactement* centrés. Toutefois, on admet que le défaut de centrage est assez faible pour qu'on puisse le négliger.

### *Œil schématique.*

Si on attribue à l'humeur aqueuse et au corps vitré un indice de réfraction égal à celui de l'eau (ce qui ne s'écarte pas sensiblement de la réalité), si on fait abstraction des défauts de symétrie de la cornée et si on admet le centrage des dioptres cornéens et cristalliniens, on peut regarder le système dioptrique oculaire comme constitué par un milieu réfringent unique, séparé de l'air par une surface sphérique, et contenant dans son sein une lentille homogène d'indice égal à l'indice total du cristallin, constituant, avec la cornée, un système centré. Tel est l'œil schématique. On peut alors appliquer à ce système dioptrique les calculs et les raisonnements que l'on fait sur les systèmes centrés. Cet œil schématique possède donc des points nodaux, des plans principaux et focaux dont les positions sur l'axe ont été calculées par Helmholtz (1).

### *Œil réduit.*

Les points principaux de l'œil schématique étant très rapprochés l'un de l'autre, on a simplifié davantage encore le schéma de l'œil en supposant ces points confondus en un seul placé sur l'axe à 2 millimètres en arrière de la cornée de l'œil schématique. Les points nodaux sont de même très voisins; suppo-

(1) Tableau d'Helmholtz, *Optique physiologique,* p. 154.

Digitized by Google

sons-les réunis et coïncidant avec le centre de courbure du dioptre passant par le point principal unique.

Enfin, si l'on suppose que l'œil ainsi simplifié est constitué par un même milieu réfringent dont l'indice est le même que celui de l'eau, on obtient l'*œil réduit* de Listing et Donders.

Il est formé d'un dioptre unique ayant un rayon de courbure de 5 millimètres limitant un milieu dont l'indice est $\frac{4}{3}$.

Si l'on calcule les distances des plans focaux au pôle du dioptre, on trouve 15 millimètres pour la distance focale antérieure et 20 millimètres pour la distance focale postérieure. Ces foyers sont respectivement à 13 et à 22 millimètres du sommet de la cornée de l'œil schématique; ils se confondent donc très sensiblement avec les plans focaux de cet œil schématique, qui sont à $12^{mm}918$ et $22^{mm}23$ de ce même pôle de la cornée.

Le dioptre unique constitué par l'œil réduit, pour pouvoir être substitué à l'œil schématique, doit être équivalent au système centré formé par cet œil schématique. Nous venons de voir que ses distances focales sont très sensiblement les mêmes, que le point principal unique et le centre de courbure coïncident approximativement et respectivement avec les points principaux et nodaux de l'œil schématique; il reste à voir la valeur du rapport des deux distances focales. — On sait que dans tout système centré, si on appelle $n$ l'indice de réfraction du milieu d'émergence par rapport au milieu d'incidence, le rapport des distances focales est égal à $n$, quels que soient les indices des milieux intermédiaires et leur nombre. Dans le cas de l'œil schématique, le rapport des distances focales est égal à l'indice de l'humeur vitrée 1,33.

Pour l'œil réduit, qui est un dioptre convergent, les valeurs des distances focales sont

$$f = \frac{r.n}{n-1} \qquad \text{et} \qquad f' = \frac{r}{n-1}.$$

Leur rapport est

$$\frac{f}{f'} = \frac{n(n-1)}{(n-1)} = n = 1,33 \text{ ou } \frac{4}{3}.$$

Digitized by Google

Par conséquent, l'œil réduit constitue un système dioptrique *équivalent* à l'œil schématique, et on a le droit, au point de vue physique, de substituer le premier au second.

Il n'en est pas du tout de même lorsqu'il s'agit des lentilles; ce rapport des distances focales est égal à 1, puisque $f = f'$ : une lentille n'est donc pas équivalente à l'œil schématique, et jamais on n'a le droit de remplacer l'œil par une lentille convergente. C'est cependant ce qu'on trouve assez souvent écrit dans les ouvrages d'ophtalmologie. Nous ne saurions trop nous élever contre une pareille confusion.

L'œil réduit de Listing, construit avec les dimensions simples que nous avons indiquées, peut être regardé comme conduisant à des résultats qui seront en général suffisamment approchés. C'est sur lui que nous raisonnerons dans la suite de ce travail.

L'avantage de cet œil réduit sur l'œil schématique, c'est que les formules compliquées relatives aux points principaux et nodaux n'ont pas besoin d'être appliquées : ces calculs ne doivent être employés que si l'on raisonne sur l'œil schématique.

On a réalisé l'œil réduit : nous citerons seulement l'œil réduit de Landolt; ceux de Badal, de Perrin, de Parent, etc., étant formés par une lentille, ne peuvent pas servir lorsqu'on veut vérifier ce qui se passe dans l'œil humain, car ils ne constituent pas un système dioptrique *équivalent* à l'œil schématique; nous venons de dire pourquoi. Seul, l'œil artificiel de Landolt est équivalent à l'œil schématique; il se compose d'une petite caisse *pleine d'eau* et possède une cornée en verre mince ayant 5 millimètres de rayon de courbure.

---

Digitized by Google

# III

## Mesure de l'acuité visuelle.

---

Soit un œil qui, sous un angle minimum $\alpha$, peut distinguer nettement la forme d'un objet AB; d'après la définition que nous avons donnée de l'acuité visuelle, on peut écrire

$$V = \frac{1}{\alpha}.$$

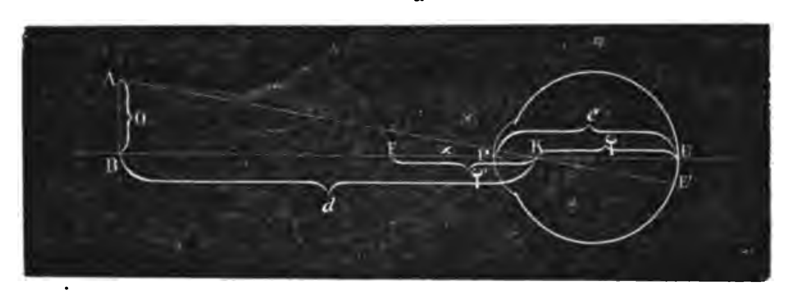



Fig. 1.

Le triangle ABK étant rectangle, on a

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{o}{d},$$

$o$ étant la grandeur de l'objet AB et $d$ sa distance à l'œil.

L'angle $\alpha$ étant très petit (5′ et souvent moins), on peut, en vertu des lois de Képler, remplacer la tangente par l'angle lui-même et écrire

$$\alpha = \frac{o}{d}.$$

Substituons cette valeur à $\alpha$ et nous obtenons

$$V = \frac{d}{o}.$$

Digitized by Google

Mise sous cette forme, cette formule montre : 1° que l'acuité d'un œil est, pour un même objet, d'autant plus grande que la distance à laquelle l'œil est placé est elle-même plus grande; 2° que pour une même distance, l'acuité est d'autant plus grande que l'objet dont on peut distinguer la forme est plus petit.

Si nous considérons un autre œil capable de distinguer à la distance $d'$ un objet $o'$, son acuité visuelle V' sera représentée par

$$V' = \frac{d'}{o'}.$$

Si nous supposons que l'acuité V' est celle que nous avons prise pour unité d'acuité, la mesure de l'acuité V du premier œil est le rapport

$$\frac{V}{V'},$$

car on sait que mesurer une grandeur, c'est chercher combien de fois l'unité choisie est contenue dans la grandeur à mesurer.

En remplaçant V et V' par leurs valeurs respectives, on a

$$\frac{V}{V'} = \frac{\frac{d}{o}}{\frac{d'}{o'}} = \frac{d}{d'} \times \frac{o'}{o},$$

et puisque V' = 1,

$$V = \frac{d}{d'} \times \frac{o'}{o}.$$

On peut remarquer que si on fait $o' = o$,

$$V = \frac{d}{d'},$$

et que si on fait $d = d'$,

$$V = \frac{o'}{o}.$$

Il résulte de là qu'il y a deux façons de mesurer l'acuité



Digitized by Google

visuelle : soit en faisant regarder à tous les yeux le même objet et en faisant varier la distance, soit en laissant la distance constante pour tous les yeux et en faisant regarder des objets de grandeur variable.

1re Méthode. — *Objet de grandeur fixe, distance variable.*

L'objet fixe sera, par exemple, des caractères d'imprimerie de même grandeur, dont l'épaisseur du trait est le cinquième de la hauteur, ou des traits équidistants à intervalles égaux. Soit $d'$ la distance à laquelle l'œil d'acuité unité distingue nettement l'objet-type, et soit $d$ la distance à laquelle l'œil d'acuité inconnue est obligé de se placer pour voir distinctement le même objet. La mesure de son acuité s'obtient en prenant le rapport de la seconde distance $d$ à la première $d'$, et on a

$$V = \frac{d}{d'}.$$

Dans cette méthode, une seule ligne de lettres-types suffit pour déterminer toutes les acuités; il n'y a que les distances qui varient.

Exemple : Supposons des caractères d'imprimerie ayant 54 millimètres de hauteur et tels que l'épaisseur des traits soit égale au cinquième de cette hauteur. On cherche une fois pour toutes à quelle distance ces caractères sont vus sous l'angle de 5′, c'est-à-dire par l'œil d'acuité 1 ; dans ce cas, on trouve 36 mètres.

Si un œil est obligé de se placer à 29 mètres pour distinguer ces lettres, son acuité est

$$V = \frac{29}{36}.$$

Un autre œil qui serait obligé de se mettre à 32 mètres aurait une acuité de

$$V = \frac{32}{36}.$$

Digitized by Google

On voit que ces deux acuités diffèrent de $\frac{3}{36}$.

Cette méthode permet, en prenant des objets assez grands, de déterminer V avec une grande approximation. Si, en effet, deux yeux sont tels que l'un doive se placer à 31 mètres, et l'autre à 31$^{m}$50, leurs deux acuités différeront de

$$\frac{31,5 - 31}{36} = \frac{0,5}{36} = \frac{1}{72},$$

et on conçoit qu'on puisse déterminer des différences encore plus petites.

Cette méthode présente donc un grand avantage lorsqu'on veut avoir une mesure aussi exacte que possible. Mais elle exige qu'on ait à sa disposition un espace suffisamment grand pour pouvoir faire varier les distances.

La plupart des auteurs indiquent qu'en clinique ophtalmologique la mesure de l'acuité se fait en prenant le rapport des distances $d$ et $d'$; en sorte qu'il semble que c'est la méthode que nous venons de décrire. Il n'en est rien cependant. Dans les cliniques ophtalmologiques, au lieu de *faire varier les distances,* on place tous les yeux à la même distance. Ce qu'on fait varier, c'est la grandeur de l'objet-type. C'est, par conséquent, la méthode que nous allons décrire maintenant qui est utilisée.

2° Méthode. — *Distance fixe, objets de grandeur variable.*

On choisit comme distance fixe, soit 6 mètres (Snellen), soit 5 mètres (Monoyer). Les objets présentés aux yeux dont on veut mesurer l'acuité varient de grandeur : il sont disposés, en général, sur un tableau par ordre de hauteur croissante ou par ordre de hauteur décroissante. Ce sont, le plus souvent, des lettres, quelquefois des traits, dans quelques cas des points. Quelle que soit la forme choisie, ces caractères constituent ce qu'on est convenu d'appeler : échelles d'acuité, échelles optométriques, optotypes, test-types, échelles typographiques, etc., dont nous allons longuement parler. On

Digitized by Google

détermine, une fois pour toutes, la grandeur des lettres qui, à la distance fixe choisie, apparaissent sous l'angle de 5'. Soit *o'* cette grandeur; on cherche ensuite, en faisant placer l'œil à cette même distance, quelle est la grandeur des caractères les plus petits qu'il peut distinguer encore nettement. Soit *o* cette grandeur.

L'acuité de l'œil est donnée par le rapport

$$V = \frac{o'}{o}.$$

La hauteur des lettres qui, à 5 mètres, sont vues sous l'angle de 5', est de $7^{mm}5$. Si un œil ne peut distinguer que celles qui ont une grandeur de $11^{mm}25$, son acuité est évidemment

$$\frac{7,5}{11,25} = \frac{2}{3}.$$

Il suffit donc, dans cette méthode, de noter à côté de chaque rangée de lettres leur grandeur : l'acuité sera donnée par le rapport $\frac{o'}{o}$.

Il est encore plus simple, et c'est ce qui a été fait par plusieurs auteurs, de noter, en face de chaque ligne de caractères, le rapport $\frac{o'}{o}$ tout calculé. Si les lettres vont par ordre de grandeur décroissante, la valeur de V indiquée en marge sera, par exemple,

$$\frac{1}{1}, \frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1,$$

ou bien (Monoyer)

1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1.

Cette méthode, plus commode que la première, ne permet pas de donner la mesure de V avec une approximation aussi grande; elle est donc moins précise et d'une sensibilité moindre; en revanche, elle n'oblige pas à posséder un espace bien grand, puisque 5 mètres suffisent.

Digitized by Google

Nous avons dit plus haut que c'est à cette méthode qu'on a recours en clinique. Nous allons le justifier maintenant. En effet : 1° la distance est la même pour tous les yeux ; 2° au-dessus ou à côté de chaque ordre de lettres se trouvent, en général, des numéros qui, au lieu de représenter la grandeur des objets-types, représentent la distance à laquelle ces objets sont vus sous l'angle de 5′. Mais si on fait le rapport $\frac{o'}{o}$ et qu'on le compare à celui obtenu en prenant, d'une part, le nombre placé à côté de la ligne lue par l'œil d'acuité 1, d'autre part, le nombre placé à côté de la ligne lue par l'œil d'acuité inconnue, on trouve qu'il y a égalité. Cela se comprend aisément : le numéro de chaque ligne de caractères n'est pas autre chose que le produit de la grandeur de chaque ordre de lettres par la constante 66,66, et il est évident alors que

$$\frac{o'}{o} = \frac{o' \times 66,66}{o \times 66,66}.$$

Le résultat est donc le même qu'on prenne (comme l'indique la méthode) $V = \frac{o'}{o}$ ou le rapport des numéros que portent les échelles ordinaires. L'approximation obtenue par le rapport adopté en clinique n'est pas plus grande que si on prenait le rapport des grandeurs des objets.

Il serait donc beaucoup plus *méthodique* d'indiquer la grandeur de chaque ordre de caractères ; de plus, la définition de la mesure de l'acuité y gagnerait en clarté : le plus souvent on fait un mélange des deux méthodes, qui devraient être bien séparées l'une de l'autre. La difficulté qu'éprouvent les étudiants et les lecteurs disparaîtrait certainement et la confusion qu'entraîne ce mélange serait remplacée par une clarté que devraient rechercher spécialement les ophtalmologistes.

Quoi qu'il en soit, la mesure de l'acuité sera faite au moyen de la seconde méthode chaque fois que la distance sera constante pour tous les yeux. C'est ce qui a lieu en particulier dans l'optomètre du professeur Badal et dans ceux du même

Digitized by Google

genre. Ici, en effet, tout se passe comme si l'échelle optométrique, ou plutôt sa réduction photographique, se trouvait placée dans un des plans principaux de la lentille, c'est-à-dire, dans le cas où le centre optique de l'œil coïncide avec le foyer de la lentille, à la distance de 63 millimètres. L'acuité est toujours donnée par le rapport $\frac{o'}{o}$ de la grandeur de l'objet vu sous l'angle de 5′ à celle de l'objet le plus petit vu distinctement par l'œil examiné.

---

Digitized by Google

# IV

## Modifications de la grandeur des images rétiniennes par les verres correcteurs dans les différentes amétropies.

---

Les différentes méthodes de mesure de l'acuité visuelle que nous venons d'exposer s'appliquent à l'œil emmétrope; lorsque l'œil à examiner est amétrope, son anomalie de la réfraction doit être corrigée. Le verre correcteur forme alors avec l'œil un système dioptrique centré qui produit des images rétiniennes différentes de celles formées par les mêmes objets dans l'œil nu. Les mêmes objets (lettres, traits ou points) devant servir à la mesure de l'acuité pour tous les yeux, quel que soit l'état de réfraction, on doit se demander quel est l'effet produit par le verre correcteur sur la grandeur des images rétiniennes. Si, en effet, une même lettre, pour la même distance, ne donnait pas dans un œil amétrope corrigé une image rétinienne de même grandeur que celle de l'œil emmétrope, les mesures de l'acuité ne seraient pas comparables pour tous les yeux.

En effet, considérons les amétropies axiles: un même objet AB fournit dans chaque œil des images $HH' < EE' < MM'$.

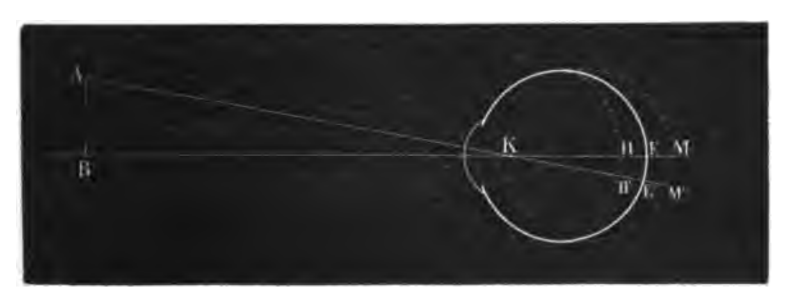



Fig. 2.

Digitized by Google

On ne voit pas *a priori* pourquoi le verre correcteur rend ces images rétiniennes égales.

De même, si on considère les amétropies de courbure, qui

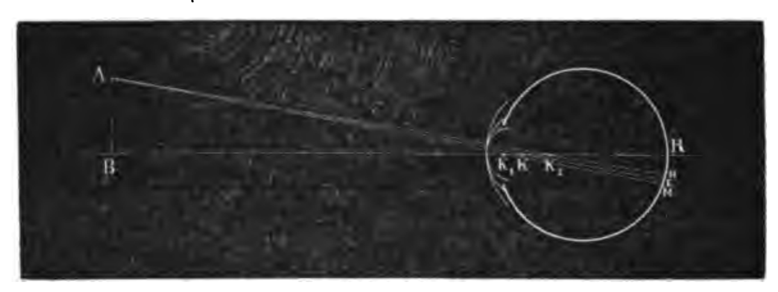



Fig. 3.

sont produites, non par une variation dans la longueur de l'axe, mais par une variation dans la courbure de la cornée de l'œil, l'objet AB donne les images rétiniennes $RH < ER < RM$. Là aussi, on ne voit pas, *a priori,* dans quelles conditions et pourquoi le verre correcteur de chaque amétropie rend les images rétiniennes égales à celles de l'œil emmétrope.

Des démonstrations ont été données, avant nous. Ainsi Knapp, de New-York, pour les amétropies axiles, a appliqué les formules de Helmholtz, et il a trouvé qu'un même objet est vu, quand la correction de l'amétropie est faite, ***sous le même angle*** que pour l'œil emmétrope [1].

Landolt [2] arrive aussi à la même conclusion, indirecte, en employant la même méthode, qui repose sur la considération des systèmes centrés : ce qui entraîne des longueurs et rend la démonstration pénible.

Enfin Gullstrand [3], en 1891, montra que pour les angles focaux égaux, dans le cas des amétropies axiles, et des angles principaux égaux, dans le cas des amétropies de courbure, les images rétiniennes sont égales à celles de l'œil emmétrope.

Les calculs que nous allons exposer ont l'avantage sur ceux

---

(1) *Annales d'oculistique,* 1872, t. LXVII, p. 191.
(2) *Traité d'ophtalmologie* (de Wecker et Landolt), t. I, p. 478.
(3) *Revue générale d'ophtalmologie,* 1891, p. 299.

Digitized by Google

des auteurs précités de s'appliquer à la *grandeur même* de l'image rétinienne : le raisonnement se fait sur l'*œil réduit* dans lequel, on le sait, on ne doit pas faire entrer la considération de points nodaux ou principaux. En un mot, les démonstrations suivantes sont élémentaires, tout en conservant une approximation tout aussi grande que celles de Landolt, et de plus elles sont directes et tout à fait générales.

### 1° *Amétropies axiles.*

Considérons l'œil réduit dans le cas de l'emmétropie (voir *fig.* 1, p. 16), et soit un objet AB (par exemple une des lettres de l'échelle de Snellen) placé à la distance *d*. L'image rétinienne de cet objet s'obtient en joignant le point A au centre optique de l'œil réduit.

Désignons l'image rétinienne EE′ par $i_e$, la distance KE du centre optique à la rétine par $\varphi$, et la grandeur de l'objet AB par *o*.

Les triangles EKE′ et AKB donnent évidemment :

$$\frac{EE'}{KE} = \frac{AB}{BK}, \quad \text{ou} \quad \frac{i_e}{\varphi} = \frac{o}{d},$$

relation que nous allons avoir à utiliser plus loin.

1er Cas. — *Œil myope.* — Le verre correcteur d'une amétropie axile se place dans le plan focal antérieur de l'œil : nous supposons que le degré de myopie est exactement corrigé par le verre divergent.

Soit le même objet AB placé à la même distance *d* de l'œil. Pour obtenir l'image rétinienne, on ne peut plus réunir simplement par une ligne droite le point A au point K, à cause de la présence de la lentille divergente.

Ici, il faut construire un rayon incident émanant du point A et tel qu'après sa réfraction à travers la lentille il donne naissance à un réfracté passant par le centre optique K de l'œil.

Remarquons que le prolongement de l'incident à construire

Digitized by Google

viendra couper l'axe en un point K' qui est le foyer conjugué de K. La question est ramenée à la suivante : Connaissant un point lumineux K, déterminer son foyer conjugué.

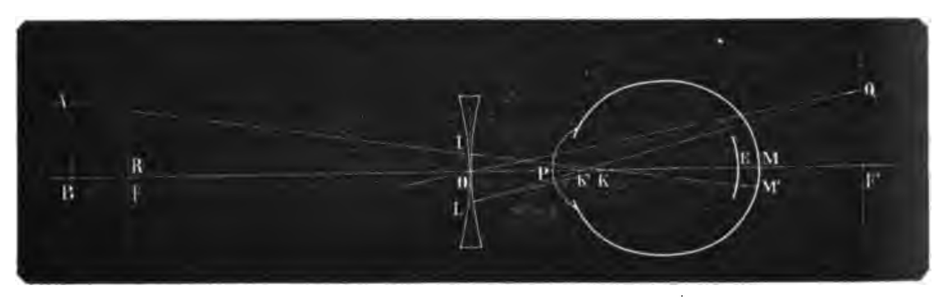



Fig. 4.

Les plans focaux de la lentille divergente étant en F et F', il suffit de mener du point K un incident quelconque KL, de construire l'axe secondaire OQ parallèle ; le prolongement du réfracté de KL est évidemment LQ, qui coupe l'axe en K' : ce point K' est le foyer conjugué de K.

Il est facile maintenant de construire l'image rétinienne de AB. On joint AK' qui détermine sur la lentille le point I qu'on joint au centre optique K : MM' est l'image produite par AB sur la rétine de l'œil myope muni de son verre correcteur. — Nous allons démontrer d'une façon très simple que cette image rétinienne MM' est de même grandeur que celle produite par le même objet, placé à la distance *d*, dans l'œil emmétrope.

Nous désignerons l'image rétinienne MM' par $i_m$;
la distance OK par $\varphi'$;
la longueur KE par $\varphi$ (œil emmétrope);
l'excès de longueur EM de l'œil myope sur l'œil emmétrope par $\varepsilon$.

Considérons les triangles MM'K et IOK ; on peut écrire :

$$\frac{i_m}{IO} = \frac{KM}{\varphi'}, \qquad \text{d'où} \qquad i_m = \frac{IO.KM}{\varphi'}.$$

Il faut trouver IO et KM,

Digitized by Google

Les triangles K'IO et K'AB donnent

$$\frac{\mathrm{IO}}{\mathrm{OK'}} = \frac{o}{d}.$$

Mais nous avons trouvé plus haut que

$$\frac{o}{d} = \frac{i_e}{\varphi};$$

par suite on a

$$\frac{\mathrm{IO}}{\mathrm{OK'}} = \frac{i_e}{\varphi}.$$

On sait que la formule classique des lentilles divergentes est

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f}.$$

K et K' étant les foyers conjugués l'un de l'autre par rapport à la lentille, on a ici

$$\frac{1}{\mathrm{OK}} - \frac{1}{\mathrm{OK'}} = -\frac{1}{\mathrm{OF}}.$$

Il faut remarquer que la lentille étant le verre correcteur de l'œil myope considéré, son plan focal coïncide avec le punctum remotum de l'œil, et que par suite $\frac{1}{\mathrm{OF}}$ représente, en dioptries, le degré N de myopie de l'œil : $\frac{1}{\mathrm{OF}} = \mathrm{N}$.

Par suite, la formule devient

$$\frac{1}{\varphi'} - \frac{1}{\mathrm{OK'}} = -\mathrm{N},$$

d'où

$$\mathrm{OK'} = \frac{\varphi'}{\mathrm{N}\varphi' + 1}.$$

En remplaçant OK' par cette valeur, on a

$$\mathrm{IO} = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\varphi'}{\mathrm{N}\varphi' + 1}.$$

Il ne reste plus qu'à évaluer KM ; c'est $\varphi + \varepsilon$.

Puisque F coïncide avec le punctum remotum de l'œil myope,

Digitized by Google

M est son foyer conjugué par rapport au dioptre que représente l'œil réduit ; on a

$$OF \times EM = OP \times PE,$$

ou

$$EM = \frac{1}{OF} . OP \times PE;$$

mais comme $OP = KE = \varphi$ et $PE = OK = \varphi'$, on a

$$\varepsilon = N.\varphi.\varphi',$$

d'où

$$KM = \varphi + \varepsilon = \varphi + N\varphi\varphi' = \varphi\,(1 + N\varphi').$$

Si on remplace IO et KM par leurs valeurs, on a

$$i_m = \frac{i_e}{\varphi} . \frac{\varphi'}{N\varphi' + 1} \times \frac{\varphi(N\varphi' + 1)}{\varphi'};$$

en simplifiant, il vient

$$i_m = i_e.$$

Donc, l'image rétinienne que produit un même objet placé à une même distance est de même grandeur dans l'œil emmétrope et dans l'œil myope muni de son verre correcteur quand celui-ci est dans le plan focal de cet œil.

2e Cas. — *Hypermétropie.* — L'hypermétropie axile est caractérisée par un défaut de longueur de l'œil. Soit un œil hypermétrope corrigé au moyen d'une lentille convergente placée dans le plan focal antérieur, et un objet, AB, le même que précédemment, situé à une distance *d* de cet œil.




Fig. 5.

Pour construire l'image rétinienne de AB, il faut trouver

Digitized by Google

l'incident qui, après réfraction à travers la lentille, passera par le centre optique K, ce qui revient à chercher le foyer conjugué K' de K.

Pour cela, les plans focaux de la lentille convergente étant en F et F', menons par K un rayon quelconque KL : son réfracté est QL, qui, prolongé, coupe l'axe en K', point cherché.

En joignant AK', on a le point I sur la lentille, et IK coupe la rétine en H' : HH' est l'image rétinienne de AB.

Désignons HH' par $i_h$;

KE par $\varphi$ (œil emmétrope);

OK par $\varphi'$;

HE par $\varepsilon$.

Les triangles KHH' et IOK donnent

$$\frac{i_h}{IO} = \frac{KH}{\varphi'},$$

d'où

$$i_h = \frac{IO \times KH}{\varphi'}.$$

Il faut chercher IO et KH. Or, dans les triangles K'IO et K'AB, on a

$$\frac{IO}{K'O} = \frac{o}{d}.$$

Comme nous l'avons déjà vu,

$$\frac{o}{d} = \frac{i_e}{\varphi},$$

et

$$\frac{IO}{K'O} = \frac{i_e}{\varphi}.$$

Si on applique la formule classique des lentilles convergentes, qui est dans ce cas (point lumineux K entre la lentille et son foyer)

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

on obtient

$$\frac{1}{OK} - \frac{1}{OK'} = \frac{1}{OF}.$$

Digitized by Google

Puisque la lentille corrige exactement l'hypermétropie de l'œil considéré, le foyer F coïncide avec le punctum remotum virtuel de cet œil; il en résulte que $\frac{1}{OF}$ représente en dioptries le degré N de l'hypermétropie, d'où

$$\frac{1}{\varphi'} - \frac{1}{OK'} = N.$$

On tire de là

$$OK' = \frac{\varphi'}{1 - N\varphi'},$$

ce qui donne pour IO

$$IO = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\varphi'}{1 - N\varphi'}.$$

La longueur KH est égale à $\varphi - \varepsilon$.

Puisque F est le punctum remotum de l'œil, H est son foyer conjugué par rapport à l'œil et on a

$$-OF \times -HE = OP \times PE,$$

ou

$$HE = \frac{1}{OF} \times OP.PE,$$

ou encore

$$\varepsilon = N\varphi\varphi'.$$

Par suite

$$KH = \varphi - N\varphi\varphi' = \varphi(1 - N\varphi').$$

En remplaçant IO et KH par leurs valeurs ainsi déterminées. on obtient

$$i_h = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\varphi'}{1 - N\varphi'} \times \frac{\varphi(1 - N\varphi')}{\varphi'},$$

ou

$$i_h = i_e.$$

Il résulte clairement de ces démonstrations que des objets donnés fournissent sur la rétine des yeux amétropes axiles corrigés des images égales à celles formées, dans les mêmes conditions, sur la rétine de l'œil emmétrope.

Digitized by Google

Il est facile de voir sur les figures que si le verre correcteur de chaque amétropie n'était pas le plan focal antérieur de l'œil, il n'y aurait plus égalité des images rétiniennes; si, par exemple, le verre correcteur était placé plus loin que le plan focal, les images diminueraient dans le cas de la myopie et augmenteraient dans le cas de l'hypermétropie.

### 2° *Amétropies de courbure.*

Ce genre d'amétropie est moins fréquent que le premier. Ici, c'est l'excès ou le défaut de courbure qui produit la myopie ou l'hypermétropie.

Comme pour les amétropies axiles, nous avons cherché ce que deviennent les images rétiniennes lorsque ces yeux amétropes sont munis de leurs verres correcteurs.

Il faut d'abord remarquer que ce qui cause l'amétropie, c'est la position du centre optique K sur l'axe: quoique la longueur de l'œil soit la même pour l'œil emmétrope et pour les yeux amétropes de courbure, *la distance du centre optique à la rétine est différente pour chacun.*

Si on désigne par $o$ la grandeur d'un objet placé à une distance $d$ de l'œil emmétrope, et par $i_e$ l'image rétinienne de cet objet, on a (v. fig. 1):

$$\frac{i_e}{\varphi} = \frac{o}{d}.$$

1<sup>er</sup> Cas. — *Œil myope.* — Soit un œil myope caractérisé par ce fait que le rayon $r$ de sa cornée est plus petit que celui de la cornée de l'œil emmétrope. — Sa longueur $PE = e$, a même que pour l'emmétrope.

Plaçons devant cet œil une lentille divergente capable de corriger exactement la myopie. Appelons $\delta$ la distance OK qui sépare cette lentille du centre optique K. A la distance $d$ est l'objet $AB = o$.

Pour construire l'image rétinienne de l'objet AB, il faut trouver un rayon qui, émanant du point A, passe, après

Digitized by Google

réfraction à travers la lentille, par le centre optique K de l'œil. — Ce qui revient à trouver le foyer conjugué de K par rapport au verre correcteur.

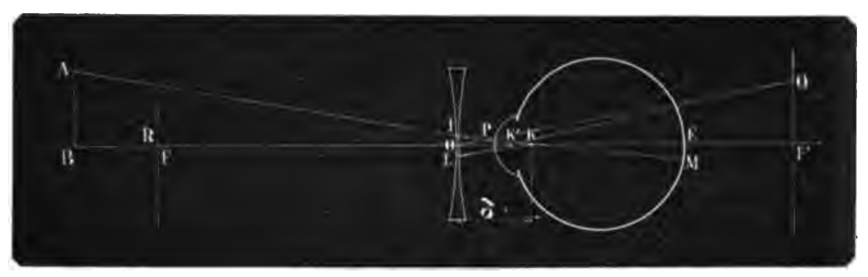



Fig. 6.

On mène un rayon quelconque KL dont le réfracté prolongé est LQ : le point K' est le foyer conjugué de K. En joignant AK', on détermine le point I qu'il suffit de joindre à K pour obtenir l'image rétinienne EM de AB : désignons-la par $i_m$.

Dans les triangles EKM et IOK, on a

$$\frac{i_m}{KE} = \frac{IO}{OK},$$

ou

$$\frac{i_m}{e - r} = \frac{IO}{\delta},$$

d'où

$$i_m = \frac{IO \times (e - r)}{\delta}.$$

Il faut évaluer IO et le rayon $r$.

Les triangles dont le sommet commun est en K', c'est-à-dire IOK' et ABK', donnent

$$\frac{IO}{OK'} = \frac{o}{d},$$

ou encore, comme on l'a vu plus haut,

$$\frac{IO}{OK'} = \frac{i_e}{\varphi}.$$

La formule classique des lentilles divergentes est ici

$$\frac{1}{OK} - \frac{1}{OK'} = -\frac{1}{OF}.$$

Digitized by Google

Puisque la lentille est exactement correctrice de la myopie considérée, F coïncide avec le punctum remotum de l'œil, et par suite $\frac{1}{\mathrm{OF}} = \mathrm{N}$.

L'équation précédente devient

$$\frac{1}{\delta} - \frac{1}{\mathrm{OK}'} = -\mathrm{N},$$

d'où

$$\mathrm{OK}' = \frac{\delta}{\mathrm{N}\delta + 1}.$$

On a ainsi, pour IO, la valeur

$$\mathrm{IO} = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\delta}{(\mathrm{N}\delta + 1)}.$$

Évaluons maintenant le rayon de courbure $r$.

On sait que si, dans un dioptre, on appelle $p$ la distance d'un point lumineux au pôle, $p'$ la distance de son foyer conjugué au pôle, $r$ le rayon du dioptre et $n$ son indice de réfraction, on a

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n-1}{r}.$$

Cette formule s'applique ici en remarquant que le point R est le remotum de l'œil et par suite le foyer conjugué de la rétine E; la fraction $\frac{1}{p}$ est le degré N de myopie de l'œil, et $p'$ est la longueur $e$ de l'axe antéro-postérieur de l'œil. On a donc

$$\mathrm{N} + \frac{n}{e} = \frac{n-1}{r},$$

ou

$$r(e\mathrm{N} + n) = e(n-1),$$

d'où

$$r = \frac{e(n-1)}{e\mathrm{N} + n}.$$

La valeur de KE est

$$\mathrm{KE} = e - r = e - \frac{e(n-1)}{e\mathrm{N} + n} = \frac{e(1 + e\mathrm{N})}{e\mathrm{N} + n}.$$



Digitized by Google

En substituant à IO et à KE leurs valeurs respectives, il vient

$$i_m = \frac{i_e}{\varphi} \times \frac{\delta . e(1 + eN)}{(eN + n)(1 + N\delta).\delta},$$

ou

$$i_m = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{e(1 + eN)}{(eN + n)(1 + N\delta)}.$$

Le rapport $\frac{e}{\varphi}$ n'est pas autre chose que le rapport des deux distances focales de l'œil réduit (*fig.* 1) : il est égal à l'indice $n$ de l'œil. On a donc

$$i_m = \frac{i_e \times n.(eN + 1)}{(eN + n)(1 + N\delta)}.$$

Cette expression de $i_m$ montre que l'image rétinienne $i_m$ n'est pas, pour toute valeur de $\delta$, égale à celle de l'œil emmétrope. Mais il est facile de trouver quelle est la distance à laquelle il faut placer la lentille de l'œil pour que cette égalité d'images se produise. En effet, pour que $i_m = i_e$, il suffit que

$$\frac{n(eN + 1)}{(eN + n)(1 + N\delta)} = 1,$$

ou

$$1 + N\delta = \frac{n(eN + 1)}{eN + n},$$

d'où

$$\delta = \frac{eNn + n - eN - n}{N(eN + n)} = \frac{e(n - 1)}{eN + n}.$$

Or, cette valeur est celle du rayon $r$ de l'œil myope considéré. Donc, pour que les images rétiniennes soient égales, dans la myopie de courbure, à celles de l'œil emmétrope, il faut placer le verre correcteur *en contact avec la cornée.*

Il est évident que dans tout autre cas $i_m$ est différent de $i_e$. On peut voir, en effet, par l'examen de la figure, qu'à mesure que $\delta$ augmente, le point K' se rapproche de la cornée, ce qui entraîne le rapprochement du point I vers l'axe et, par suite, la diminution de $i_m$.

2e Cas. — *Œil hypermétrope.* — C'est une diminution de courbure de la cornée, ou, ce qui est la même chose, une

Digitized by Google

augmentation du rayon du dioptre cornéen qui produit ce genre d'hypermétropie. La longueur de l'œil reste la même que pour l'œil emmétrope.

Plaçons devant cet œil, à une distance OK $= \delta$, un verre convergent capable de corriger l'hypermétropie. Le même objet AB que précédemment est situé à une distance $d$ de l'œil.

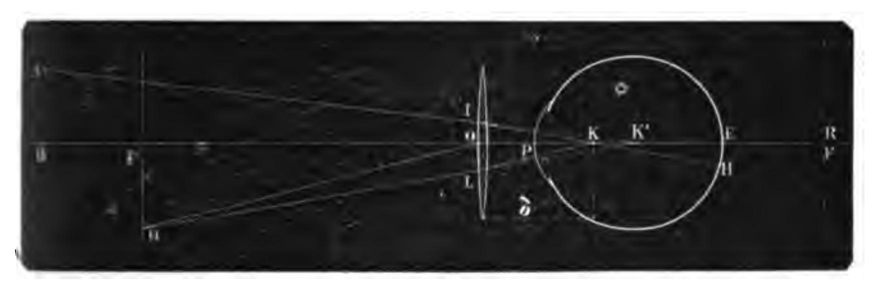



Fig. 7.

L'image rétinienne de AB s'obtient, comme pour le cas de l'œil myope, en cherchant le foyer conjugué de K par rapport à la lentille convergente.

Ce point K' obtenu, on joint AK' qui coupe la lentille en I; la droite IK détermine sur la rétine l'image EH de AB.

Les triangles EKH et IOK donnent la relation

$$\frac{EH}{KE} = \frac{IO}{OK},$$

ou

$$\frac{i_h}{e - r} = \frac{IO}{\delta},$$

d'où

$$i_h = \frac{IO \times (e - r)}{\delta}.$$

Nous allons évaluer IO et $r$.

Dans les triangles dont le sommet est en K', c'est-à-dire K'IO et K'AB, on a

$$\frac{IO}{OK'} = \frac{o}{d},$$

ou, en se reportant au cas de l'œil emmétrope,

$$\frac{IO}{OK'} = \frac{i_e}{\varphi}.$$

Digitized by Google

La formule des lentilles convergentes minces, dans le cas où le point lumineux est situé entre son foyer et son centre optique, donne

$$\frac{1}{OK} - \frac{1}{OK'} = \frac{1}{OF}.$$

Puisque F coïncide avec le remotum virtuel de l'œil considéré, on peut écrire $\frac{1}{OF} = N$. La formule devient

$$\frac{1}{\delta} - \frac{1}{OK'} = N,$$

d'où

$$OK' = \frac{\delta}{1 - N\delta}.$$

En remplaçant, on a

$$IO = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\delta}{(1 - N\delta)}.$$

Il reste maintenant à trouver la valeur de $r$.

Le point R étant le foyer conjugué de la rétine E de l'œil hypermétrope, on peut utiliser la formule des dioptres, qui est dans ce cas

$$\frac{1}{-p} + \frac{n}{p'} = \frac{n-1}{r}.$$

Si on remarque que $\frac{1}{p}$ est le degré N de l'hypermétropie, $p'$ la longueur $e$ de l'axe antéro-postérieur de l'œil, il vient

$$-N + \frac{n}{e} = \frac{n-1}{r},$$

ou

$$r(n - eN) = e(n - 1),$$

d'où

$$r = \frac{e(n-1)}{n - eN}.$$

La valeur de KE ou $e - r$ est, par suite,

$$e - r = \frac{e(1 - eN)}{n - eN}.$$

Digitized by Google

En substituant à IO et à $(e - r)$ leurs valeurs, on a

$$i_h = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\delta . e(1 - eN)}{(1 - N\delta)(n - eN).\delta} = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{e(1 - eN)}{(n - eN)(1 - N\delta)}.$$

Le rapport $\frac{e}{\varphi}$ est celui des distances focales de l'œil réduit ; il est égal à l'indice $n$. On a par suite

$$i_m = \frac{i_e . n . (1 - eN)}{(n - eN)(1 - N\delta)}.$$

Pour savoir à quelle distance de l'œil il faut placer le verre correcteur pour que l'égalité entre $i_m$ et $i_e$ existe, il suffit qu'on ait

$$n(1 - eN) = (n - eN)(1 - N\delta),$$

d'où

$$1 - N\delta = \frac{n(1 - eN)}{n - eN},$$

$$N\delta = 1 - \frac{n(1 - eN)}{n - eN} = \frac{n - eN - n + eNn}{n - eN},$$

et

$$\delta = \frac{eN(n - 1)}{N(n - eN)} = \frac{e(n - 1)}{n - eN},$$

ce qui est précisément la valeur du rayon $r$ de l'œil hypermétrope. Donc, pour que l'image $i_m = i_e$, il faut appliquer le verre correcteur sur la cornée de l'œil.

Lorsque la lentille s'éloigne de l'œil, on voit que le point K' se rapproche de la rétine, ce qui entraîne un éloignement du point I de l'axe, et par suite une augmentation de l'image rétinienne.

Donc, dans les amétropies de courbure, les images rétiniennes des objets sont égales à celles formées, dans les mêmes conditions, dans l'œil emmétrope, mais *seulement lorsque le verre correcteur touche la cornée.*

On doit tenir compte de ces considérations lorsqu'on veut obtenir une mesure exacte de l'acuité visuelle des yeux amétropes de courbure. Si le verre correcteur n'est pas placé tout

Digitized by Google

près de la cornée, une ligne de l'échelle d'acuité, par exemple celle qui correspond à l'acuité $\frac{2}{3}$, ne correspond plus à cette valeur, puisque la grandeur des images rétiniennes produites par ces caractères dans de tels yeux n'est pas rendue égale à celle de ces mêmes caractères dans l'œil emmétrope. — Il en résulte toujours une erreur pouvant avoir une assez grande importance.

### 3° *Amétropies d'indice.*

Il existe une autre catégorie d'amétropies sphériques, celles causées par une augmentation ou une diminution de l'indice de réfraction des milieux de l'œil: ce sont les *amétropies d'indice.* On s'est peu occupé de ce genre d'amétropies. Nous devons cependant les prendre en considération, car elles peuvent se rencontrer.

1° *Myopie.* — La myopie est produite ici par une augmentation de l'indice de réfraction $n'$ de l'œil. On produirait un tel œil si, dans l'œil réduit de Landolt, on remplaçait l'eau par un liquide d'indice plus grand. La longueur de l'axe, la courbure de la cornée sont les mêmes que dans l'emmétropie. Les foyers de cet œil sont seuls différents de ceux de l'emmétropie.

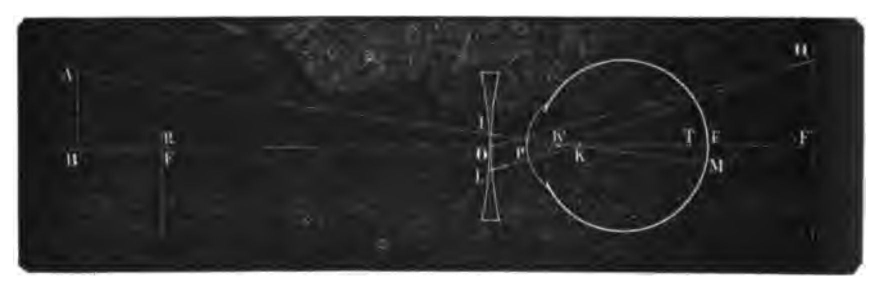



Fig. 8

Appelons $\delta$ la distance à laquelle le verre correcteur est placé du centre K de cet œil, et cherchons à trouver la valeur de $\delta$ pour que l'image rétinienne EM($= i_m$) soit égale à celle de l'œil emmétrope.

Digitized by Google

En faisant le même raisonnement que dans le cas de la myopie de courbure, on trouve

$$i_m = \frac{IO \times EK}{\delta} = \frac{IO \times \varphi}{\delta}.$$

La valeur de IO est calculée comme précédemment,

$$IO = \frac{i_e}{\varphi} \cdot \frac{\delta}{1 + N\delta}.$$

On a, par suite,

$$i_m = \frac{i_e}{\varphi} \times \frac{\delta \times \varphi}{(1 + N\delta) \times \delta} = \frac{i_e}{1 + N\delta}.$$

Pour faire entrer l'indice de réfraction dans la valeur de $i_m$, nous allons exprimer N en fonction de cet indice $n'$. La formule des dioptres

$$\frac{1}{p} + \frac{n'}{p'} = \frac{n' - 1}{r}$$

donne dans le cas actuel

$$N + \frac{n'}{e} = \frac{n' - 1}{r},$$

d'où

$$N = \frac{n' - 1}{r} - \frac{n'}{e} = \frac{n'(e - r) - e}{e \times r}.$$

En remplaçant, dans la valeur de $i_m$, on a

$$i_m = \frac{i_e . e . r}{e . r + [n'(e - r) - e]\delta}.$$

Pour que $i_m = i_e$, il faut qu'on ait

$$e . r = e . r + [n'(e - r) - e] . \delta,$$

d'où on tire

$$\delta = \frac{\text{zéro}}{n'(e - r) - e} = \text{zéro}.$$

Donc, quelle que soit la valeur de la myopie d'indice, il faudrait, pour que l'égalité des images rétiniennes fût obtenue, placer le verre correcteur au centre optique de l'œil, ce qui est évidemment une impossibilité. Il en résulte que dans ce genre

Digitized by Google

de myopie, le verre correcteur ne produira jamais sur la rétine de l'œil des images égales à celles de l'œil emmétrope.

Dans le cas de l'hypermétropie d'indice, on arrive aussi au même résultat.

On ne peut donc pas assimiler, au point de vue qui nous occupe, les amétropies d'indice aux amétropies de courbure.

Lorsque le verre correcteur est appliqué sur la cornée, on peut chercher la valeur de $i_m$. On a

$$i_m = \frac{i_e . e \times r}{e \times r + [n'(e-r) - e]r} = \frac{i_e \times e}{e + n'\varphi - e} = \frac{i_e}{n'} \times \frac{e}{\varphi} = i_e \times \frac{n}{n'}.$$

Puisque $n'$ est plus grand que $n$, l'image $i_m$ sera plus petite que $i_e$. Dans l'hypermétropie, au contraire, $n'$ est $< n$ et on a

$$i_h > i_e.$$

*Vérifications expérimentales.*

Les résultats auxquels ont conduit nos calculs ne sont pas des résultats théoriques; ils ont été confirmés par l'expérience. Landolt (1), à l'aide de son œil réduit, dont nous avons parlé plus haut, et sur les yeux d'un anisométrope, a obtenu une confirmation parfaite du calcul (il ne s'est occupé que du cas des amétropies axiles). Voici comment il a opéré avec l'œil vivant. Il a expérimenté sur un anisométrope dont l'œil droit était emmétrope, l'œil gauche hypermétrope axile. L'acuité visuelle était de $\frac{3}{2}$ à droite et de $\frac{5}{5}$ à gauche. Cet anisométrope pouvait donc, en provoquant une diplopie artificielle, comparer directement les images rétiniennes que recevait l'œil hypermétrope avec celles de son œil emmétrope.

Après une atropinisation prolongée, Landolt a constaté à gauche, en plaçant le verre convexe à 13 millimètres de la cornée de l'œil, ou 13 + 2 = 15 de celle de l'œil réduit, une hypermétropie de 3d36.

L'objet témoin consistait en une feuille de papier de 20 centimètres de largeur, divisée en bandes verticales alternative-

(1) De Wecker et Landolt, t. I, p. 501.

ment blanches et noires, ayant chacune 1 centimètre d'épaisseur. Cet objet se trouvait à 5 mètres. En plaçant devant l'œil droit un prisme à sommet dirigé en haut, il produisait une diplopie verticale, et l'anisométrope pouvait ainsi déterminer de combien de divisions l'image d'un œil dépassait celle de l'autre.

En corrigeant l'hypermétropie à l'aide du verre convexe 3,3 à 13 millimètres en avant de la cornée, la grandeur de l'objet était exactement la même pour chaque œil. Ce qui coïncide parfaitement avec le résultat du calcul.

Nous avons aussi cherché à vérifier les résultats théoriques dans le cas des amétropies de courbure, et en particulier dans le cas de la myopie de courbure.

Pour être bien sûr d'avoir un œil myope par augmentation de la courbure cornéenne, nous nous sommes adressé à un sujet astigmate : ce qui paraît *a priori* paradoxal.

Nous avons pris un sujet atteint d'astigmatisme cornéen simple myopique et conforme à la règle. Son méridien horizontal était emmétrope, et son méridien vertical myope. Puisqu'un des méridiens est emmétrope, la longueur de l'œil est évidemment la même que celle d'un œil emmétrope non astigmate; la myopie correspondant à l'autre méridien est ainsi forcément une myopie de courbure. Le degré de myopie dans ce méridien vertical, déterminé par la kératoscopie et confirmé par l'astigmomètre de Javal, était de $4^{d}5$.

Avec un tel sujet on peut avoir un des yeux emmétropes, et l'autre myope si on n'utilise que les rayons tombant, sur l'un des yeux, dans un plan horizontal et, sur l'autre, dans un plan vertical. Pour cela, nous avons pris deux fentes de $0^{mm}7$, qui ont été placées l'une horizontalement devant l'œil droit, l'autre verticalement devant l'œil gauche.

De cette façon le sujet était ramené au cas de Landolt, c'est-à-dire qu'il était rendu anisométrope : nous avions disposé des bandes verticales noires de 8 millimètres, séparées par des intervalles blancs égaux.

Digitized by Google

A l'aide d'un prisme, le sujet, qui était un étudiant en médecine, pouvait produire une diplopie verticale et amener l'image d'un œil au-dessus de l'image de l'autre.

En plaçant devant l'œil gauche un verre négatif de 4d5, de façon que sa distance à la cornée soit aussi faible que possible (1/2 millimètre environ), le sujet vit deux images en prolongement l'une de l'autre se superposant exactement.

Nous avons refait la même expérience en éloignant le verre correcteur à la distance habituelle, 13 millimètres, de la cornée. Le sujet accusa nettement une inégalité entre les images des deux yeux, la plus petite étant celle qui correspondait au côté gauche. — On ne saurait vraiment demander une preuve meilleure de la correspondance qui existe entre le calcul et la réalité.

---

Digitized by Google

# V

## Échelles optométriques.

Les objets qui servent habituellement à mesurer l'acuité visuelle constituent ce que nous avons appelé échelles optométriques, échelles d'acuité, optotypes, test-types, etc. Un des auteurs les plus compétents dans cette question, Snellen, dit qu'en pratique la détermination de l'acuité nécessite l'emploi de figures faciles à décrire et à nommer. Les figures tant soit peu compliquées présentent un avantage sur les groupes de points, en ce sens qu'elles sont moins sujettes que ces dernières à l'influence de l'éclairage. Outre cela, la manière dont le sujet examiné confond ces figures avec des figures analogues nous donne des indications sur le degré de la défectuosité de son acuité visuelle, ce qui n'est pas le cas lorsqu'il s'agit de distinguer deux points comme séparés. Les lettres sont des objets très convenables, attendu qu'avec les différences qu'elles comportent, elles présentent néanmoins une harmonie suffisante quant à la forme et à la netteté. Il est désirable d'adopter comme objets témoins une forme de lettres déterminée.

« Nous ne pouvons nous ranger, dit Snellen (1), à l'opinion » de ceux qui veulent qu'on prenne, pour base de comparaison » des différents objets témoins, la distance moyenne à laquelle » les yeux normaux peuvent les reconnaître, attendu que telle » valeur moyenne ne saurait être déterminée avec une exac» titude mathématique. Il semble au contraire désirable » d'adopter l'angle visuel conventionnel pour base dans l'ex» pression de l'acuité visuelle. »

(1) De Wecker et Landolt, *Traité d'ophtalmologie*, p. 476.

Digitized by Google

Les premiers objets-témoins semblent avoir été imaginés par A. Smée en 1854. La même année Ed. Jaeger, de Vienne, publia des échelles d'acuité sous le nom de *Schrift-Scalen*. Elles se distinguent par le grand nombre de lettres de différentes grandeurs, par la finesse de l'exécution et l'harmonie de forme des caractères des différents numéros. Les grands caractères (n^os^ 19 à 24) en lettres latines font seuls exception. Ici les intervalles qui séparent les traits des lettres les uns des autres sont relativement plus étroits que dans les petits numéros. Il y a dans ces échelles encore une lacune : Jaeger n'y a pas indiqué à quelle distance elles apparaissent sous un angle donné.

En 1862, Snellen, à Utrecht, publia une édition d'échelles d'acuité, et Giraud-Teulon, à Paris, présenta au Congrès d'ophtalmologie un modèle d'*échelles régulièrement progressives*. Ces deux auteurs prirent comme point de départ de leurs échelles le principe de Hooke et Porterfield : ils choisirent comme unité d'acuité celle d'un œil capable de distinguer nettement sous un angle de 5′ des caractères d'imprimerie dont l'épaisseur des traits était le cinquième de la hauteur ; ce qui correspond bien à l'angle appelé par Hooke le *minimum visibile*.

Cet angle de 5′ représente, d'après Snellen et Giraud-Teulon, l'acuité visuelle moyenne. Nous verrons bientôt que cet angle de 5′ ne représente point l'acuité moyenne lorsqu'on a soin de bien éclairer l'échelle optométrique.

L'*échelle de Snellen* est formée de grosses lettres latines, carrées, dont les lignes et les interlignes ont, autant que possible, le cinquième de leur hauteur. Pour la détermination de l'acuité visuelle à distance, on se sert d'un tableau de lettres de huit grandeurs différentes, et les numéros de ces grandeurs donnent la distance à laquelle chaque série de caractères apparaît sous un angle de 5′.

La grandeur des plus petits caractères que présentent ces échelles porte le n° 6 et est telle qu'à six mètres leur diamètre

Digitized by Google

apparent est de 5'. Les caractères des lignes précédentes sont plus grands; la valeur de l'acuité qui correspond à chaque ligne est calculée d'après la formule

$$V = \frac{1}{O},$$

O étant la hauteur des caractères de la ligne considérée, en prenant pour unité celle des caractères qui correspondent à une acuité égale à 1. Cela veut dire, par exemple, que pour la ligne dont les caractères ont une hauteur égale à $\frac{3}{2}$ de la hauteur des caractères de la ligne qui donne l'acuité 1, l'acuité correspondante est de

$$\frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3}, \quad \text{etc.}$$

Dans la cinquième édition des échelles typographiques qui a paru sous le titre de *Optotypi ad visum determinandum,* les distances sont indiquées en mesures métriques. Pour obtenir des chiffres facilement divisibles, la grandeur des lettres et des figures diffère un peu de celle des éditions précédentes, de sorte que le tableau contient les numéros suivants : 60, 36, 24, 18, 12, 9, 6. Ces objets témoins sont placés de préférence à une distance de six mètres, et l'acuité visuelle normale moyenne devient donc $= \frac{6}{6}$ (1).

Dans le cas où les personnes sont illettrées, Snellen se sert de simples figures carrées, les caractères d'imprimerie n'étant pas des objets faciles à décrire.

Les enfants ou les personnes qui ont de la peine à exprimer leurs impressions n'ont ainsi qu'à indiquer le côté où la figure est ouverte.

Les figures de ce genre sont, sous le rapport de la netteté,

---

(1) Dans certains modèles, le numéro qui devrait être marqué 9 porte le nombre 8; si on mesure la hauteur de ces caracteres et qu'on cherche à quelle distance ils doivent être vus sous 5', on trouve 7 m. 66 !



identiques aux lettres si les interlignes représentent toujours le cinquième de la hauteur de la figure.

Dans la 3e édition de ses échelles typographiques, les interlignes ont, au contraire, les $\frac{3}{5}$ de la hauteur; aussi est-il plus aisé de les reconnaître que les lettres; mais il est vrai que leur plus grande netteté peut suppléer au défaut d'intelligence des malades.

En Allemagne, il arrive assez fréquemment que les lettres latines ne sont pas lues par tout le monde, mais seulement les lettres gothiques. Aussi les éditions allemandes contiennent-elles un tableau composé de lettres gothiques. Les lettres gothiques compliquées sont relativement moins nettes que les lettres latines simples. On doit donc, ainsi que le recommande Snellen, pour les recherches comparatives, se servir toujours du même tableau, et indiquer dans les déterminations exactes le genre de lettres avec lesquelles elles ont été faites.

Dans l'édition anglaise des test-types de Snellen, on trouve un tableau avec des points ronds dont le diamètre est égal à leur distance réciproque. Ils y ont été placés pour les conseils de revision de l'armée anglaise, où la mesure de l'acuité visuelle consiste à reconnaître les points ronds sous un angle inférieur à 6′. Ce sont les échelles de Snellen qui sont le plus souvent employées dans la pratique.

*L'échelle de Giraud-Teulon* repose absolument sur le principe du minimum separabile : les optotypes ont été choisis dans les modèles minuscules de la typographie courante, offrant des pleins séparés par des clairs de même dimension qu'eux-mêmes et offrant, en outre, les mêmes intervalles entre les lettres d'un même mot.

Les lettres courtes composant la majorité dans les mots adoptés dans cette échelle sont coupées par des lettres longues, c'est-à-dire que les lettres *m, n, u,* au lieu de se suivre comme dans le mot *minimum,* sont séparées par des lettres plus grandes destinées, dit-il, à rompre l'uniformité.

Les optotypes de Giraud-Teulon sont des multiples exacts

Digitized by Google

les uns des autres, obtenus par l'amplification photographique, d'où le nom de régulièrement progressive donné à l'échelle. Ils sont au nombre de douze et sont pris dans la série naturelle des nombres de façon à répondre à tous les besoins de la pratique tout en évitant la superfluité ou l'encombrement.

Le numéro 1 fournit l'unité objective dans des traits pleins de 0mm3, corde ou tangente de l'arc de 1′ à 1 mètre. (Voir le tableau p. 142, G.-Teulon, *La Vision.*)

On peut faire certaines observations sur ces échelles (1) : Giraud-Teulon a trop voulu ne pas s'écarter du principe de son minimum separabile. Il ne s'occupe que de l'épaisseur des traits et de leur intervalle. Les hauteurs des caractères des différents numéros ne sont en rapport constant ni entre elles ni avec l'épaisseur des lignes, si bien, comme le dit Snellen, qu'elles portent à tort le titre d'échelle régulièrement progressive. L'échelle de Giraud-Teulon est à peu près délaissée aujourd'hui.

En 1870, Burchardt, de Cassel, imagina une *échelle internationale* pour la mesure de l'acuité visuelle et de la portée de la vision.

Burchardt, en communiquant sa nouvelle échelle, fit le procès aux échelles de Snellen et de Giraud-Teulon, qui ne peuvent être utilisées que pour les personnes lettrées et qu'on est obligé de reproduire dans un grand nombre de langues en raison de la diversité des idiomes.

---

(1) Ce sont des mots entiers qui constituent chaque série d'optotypes, ce qui est un premier inconvénient, car, par l'habitude qu'on a acquise par la lecture, tout le monde arrive, en voyant seulement l'aspect du mot, à le deviner sans analyser les syllabes qui le forment. Les lettres longues, plus faciles à distinguer que les autres, et que G.-Teulon a employées avec intention, ne servent qu'à faire deviner encore plus facilement les mots de chaque ligne. « La majeure partie des lettres saillantes est placée à la partie supérieure de la ligne et, de plus, 24 lettres sur 25 peuvent être reconnues rien qu'à la conformation de la partie supérieure, tandis que 11 seulement jouissent de cette propriété quant à la partie inférieure. Il en résulte qu'une ligne de typographie ordinaire peut être lue presque aussi facilement et aussi vite en couvrant les 2/3 inférieurs qu'en la laissant découverte tout entière. » (Armaignac, *Revue cliniq. d'oculistique du Sud-Ouest*, nov. 1880.)

Il nous semble, d'après cela, que les mots doivent être rejetés d'une échelle d'acuité.


Digitized by Google

De plus, Burchardt fait remarquer qu'il est très difficile d'obtenir des échelles typographiques dont les dimensions soient celles qui sont prescrites par chaque auteur. Celles de Snellen, pas plus que celles de Jaeger, ne sont exemptes de cette imperfection. Nous sommes de cet avis, et nous verrons que ces critiques sont exactes.

Tout cela décida Burchardt, en 1867, à composer, à l'aide de groupes de points noirs, des épreuves exemptes de ces imperfections : il s'est servi de la photographie. Une série de points de 0mm1 séparés de 0mm1, vus à 60 centimètres, apparaissent comme une ligne égale et unie; à 20 centimètres, la ligne paraît tortueuse; à 16 centimètres, on peut compter les points : alors seulement l'œil a la faculté de distinguer nettement chaque point de son voisin. Cette faculté, Burchardt l'appelle le *criterium* de la vision.

La mesure de l'acuité est donnée, dans ces épreuves, par le rapport existant entre les distances des objets à l'œil et l'intervalle qui les sépare les uns des autres, ou bien encore par l'angle sous lequel cet intervalle devient appréciable à la vue. Le rapport déterminé par Burchardt est de 1/1000, et l'angle est de 2'15. Burchardt conclut qu'il convient de fixer un angle de 2'15 comme équivalent de l'acuité visuelle normale. Ce résultat est très différent de celui de Snellen et Giraud-Teulon, puisqu'il correspond à un angle presque moitié moindre!

Burchardt a cherché des échelles qui offrissent les conditions désirables pour que la détermination de l'acuité fût possible sans le secours de lunettes, qui donnent aux myopes une acuité plus petite qu'elle ne l'est en réalité. Mais il lui a été matériellement impossible d'exécuter des épreuves d'une finesse telle que la mensuration de l'acuité pût toujours se faire sans l'aide de lunettes chez les myopes dont le punctum remotum est en deçà de 16 centimètres. Ce point est important, car il montre que seul l'optomètre est capable de faire la mesure de l'acuité vraie d'un œil.

Digitized by Google

Les échelles de Burchardt, qui, d'après l'auteur, semblent idéales, ont cependant des inconvénients signalés par Fürst, de Memel (1). Ces épreuves ne permettent pas de se passer de verres pour la détermination de l'acuité visuelle chez les hypermétropes, les astigmates et les myopes supérieurs à 1/16. Pour la simulation de la myopie, elles ne permettent de la reconnaître qu'en faisant en même temps usage de l'atropine. La plupart du temps l'usage des échelles ordinaires sera préférable.

D'autre part, Seggel (2) trouve que l'échelle de Snellen a des avantages sérieux sur celle de Burchardt.

M. Steiger, de Genève (3), dit que le dénombrement des points dans les échelles de Burchardt est parfois très compliqué, surtout pour des individus peu intelligents; il prend beaucoup de temps; enfin, certains groupements sont plus faciles à déchiffrer que d'autres.

Les épreuves de Burchardt sont encore critiquées par M. Guillery (4), qui prétend que les points, quoique augmentés proportionnellement aux distances, donnent des résultats inexacts, parce qu'en même temps Burchardt augmente l'écartement : les résultats sont trop favorables aux gros numéros.

*Échelle du prof. Monoyer.* — Une échelle qui mérite une place importante dans la classification des échelles optométriques est celle du professeur Monoyer. Elle a été présentée à l'Académie des sciences en 1875 (5).

C'est une échelle décimale d'acuité. Elle comprend 10 numéros ou échelons. Les dimensions des caractères qui composent les divers numéros de cette échelle ont été calculés de manière que l'ensemble des 10 numéros représente la série complète des dixièmes d'acuité visuelle de 1 à 10 ou de 0,1 à 1.

---

(1) *Ann. d'ocul.*, t. LXVI, 1871, p. 36.
(2) *Ann. d'ocul.*, t. XCIV, 1885, p. 157.
(3) *Arch. ophtal.*, t. XII, p. 778.
(4) *Rev. gén. d'ophtal.*, p. 504, 1891.
(5) *Comptes rendus*, t. LXXX, p. 1137.



Digitized by Google

Chacun des numéros correspond à un nombre exact de dixièmes de l'acuité normale prise pour unité : ce nombre étant donné par le rang que le numéro occupe dans l'échelle, l'intervalle entre deux numéros consécutifs est donc constant et égal à $\frac{1}{10}$ de l'acuité normale : il n'y a point de lacune, tandis que dans les autres échelles l'intervalle est variable.

L'échelle de Monoyer fait aussi connaître sans aucune manœuvre ni calcul auxiliaire l'acuité visuelle avec une approximation constante de $\frac{1}{10}$; en même temps la fraction décimale remplace la fraction ordinaire. On voit que le principe qui a servi de base à la construction de cette échelle consiste uniquement dans l'application du système décimal à la mesure de l'acuité visuelle; ainsi se trouve justifiée la qualification de *décimale* que Monoyer a donnée à son échelle. Elle est construite pour la distance de 5 mètres.

Monoyer a adopté, à l'exemple de Green, auteur d'une échelle typographique dont nous allons parler, les caractères antiques. L'auteur trouve que ce genre de lettres majuscules se prête mieux que les égyptiennes aux exigences multiples et souvent opposées de l'esthétique, de l'uniformité des rapports géométriques, d'une égale facilité à être reconnues. Quoique ces lettres soient formées de traits d'égale épaisseur dans toutes leurs parties, nous dirons plus loin ce que nous y trouvons de défectueux.

Il est à remarquer dans cette échelle que les plus gros caractères, au lieu d'être en haut comme dans les autres, se trouvent à la partie inférieure, les plus petits étant les premiers à partir du haut. Il nous semble que la disposition adoptée par Snellen est préférable, car il est plus commode de faire commencer la lecture des caractères par le haut plutôt que par le bas.

*M. de Wecker* a fait éditer des *échelles métriques*, en 1877, reliées en un petit volume que Snellen appelle un recueil d'échelles optométriques. M. de Wecker ajoute (1) : « C'est avec

---

(1) De Wecker et Landolt, t. I, p. 479.

Digitized by Google

raison que M. Snellen désigne la collection de mes échelles métriques sous le nom de *Recueil* et qu'il fait ressortir que l'éditeur, l'imprimeur et même le relieur sont appelés à jouer le rôle le plus important. »

Cette édition, arrangée d'après le principe de Snellen et Giraud-Teulon, contient les numéros 50, 40, 30, 20, 15, 10, 7,5, 5, 2,5; on y trouve une table de lignes parallèles, des séries d'épreuves pour la lecture, des carrés ouverts d'un côté pour les personnes illettrées, etc.

L'*échelle* que *Maurel* a fait construire (1) pour déterminer l'acuité visuelle sous le rapport de l'aptitude professionnelle des soldats et des marins repose sur l'emploi de la première méthode de mesure de l'acuité, c'est-à-dire sur la constance de l'objet et la variation de la distance de l'œil à l'objet. Elle est formée de lettres dont les traits ont 3 millimètres et dont la hauteur est quatre fois plus grande, soit 12 millimètres. Elle porte cinq lignes sur fond de couleur variable : noir, blanc, bleu, rouge, jaune. On fait varier la distance à partir de 15 mètres jusqu'à ce que le sujet examiné puisse épeler toutes les lettres d'une ligne.

D'après un grand nombre de mesures, Maurel trouve que l'image rétinienne correspondant à l'acuité normale est de 0,004, qui donne un angle de 50" au lieu de 1', comme l'ont adopté Snellen et G.-Teulon. Ce à quoi G.-Teulon répond qu'il n'admet pas la réduction à 50", parce que les lettres majuscules de M. Maurel sont espacées largement; d'après lui, cette disposition n'est pas sans vicier notablement les résultats : nous verrons qu'il n'en est rien. Cependant Giraud-Teulon reconnut qu'il était bon de diminuer l'étendue de l'arc rétinien, évalué d'abord par lui à 0,005, en conséquence de la distance du deuxième point nodal à la rétine, qui, au lieu de 17 millimètres, doit être prise égale à 15 millimètres.

En 1888, Parinaud (2) a construit aussi une échelle d'a-

(1) *Ann. d'ocul.*, t. LXXXI, p. 100.
(2) *Bull. de la Soc. fr. d'ophtal.*, 1888, p. 237.


Digitized by Google

cuité dans laquelle l'unité de Snellen est conservée. Il a adopté l'angle de 4′, trouvant que celui de 5′ n'était pas applicable aux caractères romains. Malgré cela, il obtient des résultats assez concordants avec ceux donnés par l'échelle de Snellen. — Pour l'exploration à petite distance, Parinaud a prolongé l'échelle de Snellen jusqu'à 25 centimètres.

Un peu plus tard (1890) Landolt a publié une échelle d'objets-types (1) placés sur un tableau en porcelaine : ce qui assure l'inaltérabilité du blanc du fond et du noir des types. Cette échelle comprend treize groupes contenant chacun deux lettres et un chiffre : disposition destinée à augmenter la précision de l'examen. A 5 mètres, les plus grands des types correspondent au dixième de l'acuité normale ; les suivants s'élèvent de dixième en dixième jusqu'à 1, comme dans l'échelle de Monoyer. — Landolt a eu la bonne idée d'ajouter des caractères permettant de mesurer des acuités supérieures à l'acuité réputée moyenne : il y a trois lignes répondant aux acuités 1,25, 1,50 et 2. — A cause du peu de types, trois par ligne, on perd moins de temps qu'avec les échelles ordinaires.

Le même auteur (2) a imaginé des optotypes destinés à mesurer l'acuité au-dessous de $\frac{1}{10}$ et à remplacer la méthode trop primitive de faire compter les doigts. Ils sont basés sur le principe de Snellen et Giraud-Teulon, d'après lequel l'acuité est normale si l'œil distingue comme séparés deux points sous un angle de 1′. Les optotypes de Landolt sont formés par un ◎ et par un ©; l'intervalle entre les crochets du © apparaissant sous l'angle de 1′ à 50 mètres, s'il faut que l'œil se rapproche à 5 mètres pour distinguer le © de l'◎, son acuité visuelle n'est plus que $\frac{5}{50} = \frac{1}{10}$ ; à 4 mètres, elle est $\frac{4}{50} = 0{,}08$ ; à 3 mètres, elle est 0,06, etc.

*Appareil de Carl.* — Carl, de Francfort-sur-le-Mein (3), a

(1) *Arch. d'ophtal.*, t. X, p. 540.
(2) *Arch. d'ophtal.*, t. IX, p. 181.
(3) *Rev. gén. d'ophtal.* 1891, p. 433.

Digitized by Google

fait construire un appareil dans le but de déterminer l'acuité plus rapidement qu'à l'aide des tableaux ordinaires.

Cet auteur dit qu'avec les échelles de Snellen on ne peut pas mesurer l'acuité comprise entre 6/9 et 1, à moins de faire varier la distance, et que les échelles qui portent beaucoup de lignes, comme celle de Monoyer, demandent très longtemps pour la mesure.

Pour faciliter la détermination de l'acuité, Carl présente une seule lettre répondant à une acuité déterminée. Suivant l'exemple de Monoyer, il prend une distance constante de 5 mètres, et des lettres exprimant l'acuité en dixièmes, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1.

Les *forces visuelles,* dit l'auteur, de 0,3 à 1 inclusivement sont représentées dix fois chacune par des lettres plus ou moins faciles, en tout quatre-vingts lettres. Un disque blanc de $0^{m}40$ de diamètre offre en haut et en bas une ouverture en secteur, dans laquelle apparaissent les lettres; deux contacts électriques règlent l'apparition des lettres. L'un de ces deux contacts amène alternativement les dix lettres de grandeur différente dans l'ouverture supérieure ou inférieure; l'autre contact amène à chaque place, sauf pour $V = 0,1$ et $0,2$, les neuf autres amenées par le contact 1.

L'appareil répond à l'exigence de pouvoir passer d'une force visuelle donnée à celle immédiatement supérieure ou inférieure. La disposition de l'appareil consiste essentiellement en ceci: sous le disque fixe se trouvent deux autres disques mobiles autour de leurs centres; l'un d'eux, diaphragmatique, situé du côté de l'examiné, porte huit ouvertures circulaires disposées en forme de spirale double et, en outre, les deux grandes lettres représentent $V = 0,1$ et $0,2$.

Derrière ce disque est l'autre disque à lettres, avec les séries de lettres disposées alternativement sur les demi-cercles supérieur et inférieur qui vont de $V = 0,3$ à $V = 1$. Le premier disque mobile, en se déplaçant, découvre avec une de ses ouvertures une lettre du disque à lettres sous-jacent, et les

Digitized by Google

séries successives des lettres plus petites ou plus grandes, selon le sens de la rotation, se découvrent par l'apparition d'une lettre unique alternativement dans les ouvertures supérieure et inférieure du disque fixe antérieur. Le mouvement du disque à lettres fait apparaître dans l'ouverture du diaphragme, maintenant fixe, les dix lettres qui représentent la même acuité visuelle; le mouvement de chacun de ces deux disques embrasse 180°.

Les disques sont mis en mouvement par des électro-aimants; la force électromotrice est fournie par deux éléments Leclanché.

La valeur de l'acuité visuelle est imprimée sous chaque lettre apparente, et le médecin arrive vite à reconnaître l'acuité qui correspond à chacune des lettres.

L'avantage que Carl trouve à son appareil, c'est l'économie de temps; en outre, le nombre des lettres dont on peut disposer est plus grand que sur la plupart des tableaux en usage.

Nous trouvons l'appareil ingénieusement conçu; il doit être d'un maniement commode; mais, vraiment, la mesure de l'acuité se trouve bien compliquée, quand, à l'aide des échelles ordinaires, elle se fait si bien. Cet appareil ne répondait, croyons-nous, à aucun *desideratum*. Ceux qui croient à la grande importance de l'observation du minimum separabile dans les échelles peuvent donner libre cours à leurs critiques, puisque, dans cet appareil, il n'apparaît qu'une lettre isolée chaque fois : on ne peut plus comparer la largeur de la lettre à l'intervalle de deux lettres. La mesure de l'acuité n'est cependant pas erronée par cet isolement des lettres.

Steiger (1), de Genève, recommande les échelles optométriques composées simplement de crochets ou carrés ouverts d'un côté, tels que les ont utilisés déjà Snellen et de Wecker. Il en déclare la lecture très facile; leurs dimensions reposent sur le principe de Snellen. Il se sert de deux tables : l'une

(1) *Arch. d'ophtal.*, t. XII, p. 778.

Digitized by Google

pour 5 mètres, l'autre pour 25 centimètres. Les séries, au nombre de vingt, sont toutes numérotées; elles portent en outre à gauche un chiffre indiquant la distance de déchiffrement pour un œil normal, à droite les fractions décimales indiquant l'acuité visuelle correspondant à chaque série, lorsqu'elle est déchiffrée à 5 mètres ou à 25 centimètres. Enfin, un tableau annexé à ces échelles permet de trouver rapidement la fraction d'acuité correspondant à un numéro donné pour une distance de déchiffrement différente de la normale. Mais Steiger fait précéder la description de son échelle des considérations suivantes :

1° La plupart des auteurs emploient des lettres pour la mesure de l'acuité à distance; des lettres, des chiffres et un texte continu pour l'examen de près. Or, les caractères typographiques sont, pour Steiger, incapables de donner une mesure exacte (?). Il rappelle l'influence considérable qu'exerce sur la lisibilité des épreuves typographiques la culture de l'examiné, surtout lorsqu'il s'agit de la lecture d'un texte continu ou même simplement de mots. Cette observation est très juste.

2° Tous les systèmes qui supposent la connaissance de la lecture exigent pour l'examen des illettrés des signes spéciaux, ce qui provoque un dualisme dans les résultats, qui en empêche la comparaison.

3° Aucune des échelles typographiques actuelles ne répond réellement au postulatum que chaque trait de chaque caractère doit apparaître sous un angle donné, à la distance prescrite pour chaque caractère. Cette critique est d'accord avec les recherches de Bellarminow.

4° Tous les systèmes proposés ont pour la détermination de V à distance d'autres lettres que pour la vision rapprochée : de là, il résulte que les mesures de loin et de près ne peuvent être comparées entre elles.

5° La plupart des échelles pour la distance finissent trop tôt en bas et ne permettent plus la détermination de très bonnes acuités à 5-6 mètres. Pour Steiger, les acuités supé-

Digitized by Google

rieures à 1 sont assez fréquentes, surtout chez les enfants (?).

6° Toutes les échelles pour l'examen de près ont toutes le même défaut, car, pour un remotum très rapproché, la détermination devient impossible, ou du moins entraîne de nombreuses erreurs. M. Steiger rappelle qu'un myope d'un degré élevé ne supporte pas aisément la correction totale ou approximative de sa myopie, qui seule pourrait nous permettre de connaître son acuité exacte. On est obligé de l'examiner à la distance de son remotum ou d'un remotum artificiellement produit par la neutralisation partielle de son amétropie. Or, dans ces conditions, on obtient une acuité visuelle trompeuse, surtout avec des échelles dont les plus fins numéros se lisent par un œil normal à 30 centimètres.

Si nous avons donné toutes ces remarques de M. Steiger, c'est que nous les trouvons généralement bien fondées, et nous partageons ses critiques.

Mais l'auteur qui a étudié par des recherches précises les différentes échelles d'acuité, c'est Bellarminow (1); par ses déterminations, il se distingue des autres auteurs critiques. Il semble avoir adopté la maxime : *Acta, non verba,* un peu oubliée par ceux-là. Bellarminow a examiné les principales échelles typographiques au point de vue de l'exactitude des traits et des hauteurs des lettres.

La détermination de la largeur des traits des objets-types a été faite par l'ophtalmomètre de Helmholtz.

Il a rencontré dans chaque échelle une différence de 5" à 10". Plusieurs des lettres de ces échelles ne sont pas vues sous l'angle de 60". Cette différence a été de 11", 18", 20" en plus ou en moins.

D'ailleurs, voici quelques-uns de ses résultats :

Échelle Snellen (en mètres): Sur 10 lettres examinées, il y en a 6 inexactes; la différence s'élève jusqu'à 12".

---

(1) *Rev. gén. d'ophtal.*, 1886, p. 142.

Digitized by Google

Échelle Monoyer : Sur 16 lettres, 13 inexactes; la différence est en moyenne de 8′5, mais les traits des lettres sont bien faits.

Échelle de Wecker : Sur 10 lettres, 5 inexactes; différence, 10′.

Échelle Galezowski (fond noir) : Sur 10 lettres, 6 inexactes; différence, 5′8.

Échelle russe d'Adamük (fond noir) : Sur 12 lettres, 7 inexactes; la différence atteint 15′. De plus, les traits des lettres sont inégaux.

Cette différence entre l'angle sous lequel les traits ou les lettres devraient être vus et l'angle sous lequel ils sont vus réellement explique le fait souvent constaté, à savoir que les lettres d'une même ligne ne se voient pas également.

Bellarminow propose, avec raison, de ne se servir que des lettres *exactes* dans une échelle, les autres étant recouvertes d'un carré de papier. On comprend, sans que nous insistions davantage, de quelle importance sont ces déterminations, qui sont précises, étant donnée la sensibilité de l'ophtalmomètre de Helmholtz. Bellarminow adresse ses reproches surtout aux typographes.

La mesure de l'acuité visuelle a exercé la sagacité des ophtalmologistes, comme on vient de le voir, au point de vue de la construction des échelles dont nous venons de donner un aperçu.

Mais on a aussi discuté sur un autre point plus grave, puisqu'il est relatif à une modification à apporter dans l'expression de la valeur de l'acuité visuelle.

Vierordt (¹), en 1863, a avancé que les acuités visuelles sont inversement proportionnelles aux carrés des images rétiniennes et non pas à leur simple diamètre. En sorte que pour exprimer la valeur de l'acuité, au lieu d'écrire $V = \frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$, on aurait $V = \frac{1}{9}$ ou $\frac{1}{16}$.

(¹) *Arch. f. Ophtalm.*, t. IX, III, p. 219.

Digitized by Google

Une échelle basée sur ces vues de Vierordt fut construite en 1869 par J. Green [1].

Les différents numéros des caractères sont entre eux dans un rapport de grandeur déterminé et représentent ainsi une progression géométrique. Il propose pour *raison* de la progression $\sqrt[3]{0,5} = 0,795$.

Avec une échelle ainsi construite, il faut pratiquer toutes les déterminations d'acuité à une même distance.

Green a choisi les caractères antiques au lieu des caractères latins de Snellen ; c'est ce qu'a fait aussi le prof. Monoyer.

Il ne fait entrer dans son échelle, pour obtenir plus de ressemblance entre eux, que les caractères C D E F G H I J L O P Q T U. — Nous reviendrons sur cette question du choix des lettres.

Enfin, le prof. Javal, de Paris, a adopté les idées de Vierordt et de Green, dont il s'est fait un des plus brillants défenseurs.

Dans son *Essai sur la physiologie de la lecture* [2], Javal dit que l'acuité visuelle décroît en raison inverse du carré des dimensions linéaires des lettres qui sont perceptibles à une distance donnée, ou bien que l'acuité visuelle doit être mesurée proportionnellement à l'inverse des surfaces des lettres-objets et non pas au moyen des rapports de leurs dimensions linéaires.

L'argumentation de Javal est la suivante : Supposons que dans un certain œil les éléments sensibles soient, pour une surface donnée, quatre fois moins nombreux que dans l'œil normal ; il est *évident* que l'acuité visuelle de cet œil est le quart de la normale. Or, dans ce cas, une lettre du groupe II, qui est deux fois plus grande, mais dont la surface est quadruple, affectera précisément le même nombre d'éléments que dans l'œil normal.

Giraud-Teulon a beaucoup combattu cette manière de voir, et voici ce qu'il répond [3] : « Ce n'est pas à la perception dans

---

(1) *A new series of test-types.*
(2) *Ann. d'ocul.*, t. LXXX, p. 146.
(3) *Ann. d'ocul.*, t. LXXXI, p. 213.

Digitized by Google

son ensemble ni à la sensibilité élémentaire que se rapporte l'argumentation de Javal, mais exclusivement à la faculté de distinguer (isolatrice). Car quel que soit le nombre des éléments rétiniens, n'y en eût-il même qu'un seul, la sensibilité propre peut être la même. Aussi ce que le raisonnement de Javal contient d'*évident*, ce n'est pas que la sensibilité élémentaire ou d'ensemble même y soit le quart de la normale, c'est que l'angle du minimum separabile est le double de l'angle normal.

» Ce que Javal a raison de dire, c'est qu'à un angle double du minimum separabile correspondra une *surface de l'optotype* quadruple de celle de l'optotype n° 1. Il suit de là qu'au lieu d'énoncer que l'acuité visuelle en un tel cas est le quart de la normale, il fallait simplement dire que la *faculté de distinguer* les objets était la *moitié* de la normale. » Ce qui revient à dire que « pendant que l'acuité visuelle suit la progression inverse simple de la tangente de l'angle visuel minimum, à cet angle correspond, dans chaque cas, une surface ou un nombre d'éléments photoesthésiques qui croissent comme les carrés des dénominateurs de la dite série, laquelle devient alors

$$1,\ \frac{1}{4},\ \frac{1}{9},\ \frac{1}{16},\ \ldots,\ \frac{1}{100},\ \text{etc.},$$

au lieu de

$$1,\ \frac{1}{2},\ \frac{1}{3},\ \frac{1}{4},\ \ldots,\ \frac{1}{10},\ \text{etc.}$$

En sorte que si l'acuité visuelle classique a pour expression

$$V = \frac{d}{D},$$

la sensibilité élémentaire de la rétine S devra avoir pour mesure

$$S = \left(\frac{d}{D}\right)^2.$$

» Pendant que l'angle du minimum separabile suit une progression simple, linéaire, la sensibilité élémentaire suit, dans ses degrés, la série des carrés des termes de la précédente. En

Digitized by Google

d'autres termes, pour un effet égal produit sur le *sensorium*, à un angle double correspondent, soit, à sensibilité égale, un éclairement quatre fois plus petit, soit, à éclairage égal, une sensibilité élémentaire quatre fois plus faible. »

Quoi qu'il en soit, on doit, d'après Javal, mesurer l'acuité, non par la grandeur linéaire de la plus petite image ou du plus petit objet correspondant dont la forme est encore distinguée, mais par la surface occupée par cette image ou par l'objet qu'elle reproduit.

Meyer, dans la séance du 11 mai 1888 de la Société française d'ophtalmologie, répondit à M. Javal, qui regrettait que les degrés des échelles d'acuité ne soient pas établis suivant une progression géométrique, que « la critique des échelles actuelles que M. Javal venait de prononcer ne pouvait faire oublier qu'elles sont devenues depuis plus de vingt-cinq ans un moyen précieux, commode et universellement adopté de déterminer l'A. V. — Les échelles actuellement en usage pour la constatation clinique de l'acuité visuelle servent très utilement soit pour déterminer et noter les modifications de la vision survenues chez le même malade, soit pour nous faire comprendre dans nos publications ».

A propos de l'opportunité des échelles de Javal, le professeur Imbert s'exprime ainsi : « En résumé, donc, il nous paraît superflu de rien changer aux principes de la graduation des échelles d'acuité actuellement en usage, en leur faisant subir les modifications indiquées par Javal et Green. » Nous nous rallions complètement à cette opinion, d'autant plus qu'il ne faut pas oublier que la *base même de la recherche de l'acuité est dans la détermination d'un angle*.

Récemment, Guillery [1] a construit une échelle ressemblant à celle de Burchardt, mais basée sur les idées de Vierordt. Il est parti du principe suivant : un point qui, à 5 mètres, est reconnu sous un angle de 50", a un diamètre de 1mm212 ; le

---

(1) *Rev. gén. d'ophtal.*, 1891, p. 504.

Digitized by Google

point suivant aura deux fois la surface de 1, le suivant trois fois, etc. La vision correspondante sera donc de 1, 1/2, 1/3, etc. Guillery a pris comme objet-type un point inscrit dans un carré, et le sujet doit en indiquer la place. M. Steiger dit que ces échelles pèchent par le principe : la perception du plus petit point noir sur fond blanc dépend beaucoup plus du *sens lumineux* que du sens des formes; de plus, Guillery a basé la construction de son échelle sur les idées de Vierordt qui paraissent encore discutables.

### *Moyens autres que les échelles optométriques utilisés pour déterminer l'acuité visuelle.*

Un procédé simple a été préconisé par Lawson (1) pour arriver à trouver la valeur de l'acuité des jeunes enfants. On dépose dans un plateau des graines différentes mélangées : graines de chanvre, de canari, de millet, de colza, de lin et d'oiseau. On choisit une graine de chanvre et, après avoir couvert un œil, on invite l'enfant à choisir dans le plateau un grain semblable. Si l'enfant s'acquitte bien de sa tâche, on répète la même opération avec un grain plus petit, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive au grain d'oiseau qui correspond assez bien à la lettre I des test-types de Jaeger. — Ce procédé est assez ingénieux, mais nous nous demandons si l'auteur n'aurait pas pu mieux préciser ce qu'il appelle grain d'oiseau ; en second lieu, il n'indique pas à quelle distance on fait placer l'œil à examiner. — De plus, pour une même espèce de grains, on sait que tous ne sont pas de la même grosseur. Toutes ces considérations font que le procédé est loin de donner des mesures exactes ; il méritait cependant d'être signalé.

Pour déterminer l'acuité des troupes de l'armée, Beaumeister (2) a essayé plusieurs moyens simples : la reconnaissance des bandes de sous-officiers, ou bien la distinction d'un disque

(1) *Ann. d'ocul.*, 1881, t. LXXXV, p. 162.
(2) *Ann. d'ocul.*, t. LXXVII, p. 189.


Digitized by Google

de but d'après un modèle réduit; ces deux moyens ont été indiqués par Burchardt; Beaumeister trouve que la valeur de V dépend de l'éclairage, qui n'est pas proportionnel à la distance; il pourrait en dire autant de toute échelle. — Il a utilisé, comme étant le meilleur moyen, le projet de Schmidt, Rimpler et Peltzer, dans lequel l'acuité visuelle est déterminée dans les exercices de tir (?).

Le prof. Charpentier (1) a indiqué un moyen très commode pour apprécier l'acuité visuelle : il recommande l'usage de carrés alternativement blancs et noirs; les carrés de damier offrent le grand avantage de présenter un type uniforme à éléments également espacés et de pouvoir être employés par les gens qui ne savent pas lire. La distance à laquelle l'œil peut différencier ou compter les carrés donne la mesure de V. Par cet examen, toutefois, dit l'auteur, on n'obtient que l'acuité visuelle de la rétine d'un individu par rapport à celle d'un autre individu; on n'a donc qu'une valeur relative et non pas une valeur absolue.

Macé de Lépinay et W. Nicati (2) se servent, au lieu des caractères d'imprimerie, d'un signe de même forme générale, constitué par trois traits horizontaux, noirs sur fond blanchi à la céruse, de 5 millimètres de longueur, distants de 1 millimètre et larges d'autant. D'après les conventions faites, c'est-à-dire lorsque l'observateur voit l'intervalle de deux traits consécutifs sous l'angle de $1'$, $V = 1$. Pour mesurer l'acuité d'un observateur placé à $n$ mètres du signe employé, ils se servent de la formule

$$V = 0{,}29 . n.$$

Nous devons encore indiquer comme moyen de mesurer l'acuité visuelle le procédé des optomètres, parmi lesquels l'optomètre de Badal mérite de tenir la première place.

Nous supposons cet appareil connu du lecteur : dans le cas

(1) *Arch.*, 1881, t. I, p. 633.
(2) *Journ. de phys.*, 1882, p. 33.

Digitized by Google

où l'on voudrait revoir sa théorie, nous renvoyons aux *Annales d'oculistique* (t. LXXV, p. 1 et 102). Si nous considérons un œil emmétrope dont le premier point nodal (ou le centre optique pour l'œil réduit) coïncide avec le foyer postérieur de la lentille de l'optomètre, un objet qui se déplace sur l'axe depuis la lentille jusqu'à l'infini a pour caractéristique de son image une droite passant par le foyer postérieur de la lentille et en même temps par le centre optique de l'œil. Quelle que soit donc la place de cet objet, l'angle sous lequel il est vu par l'œil, après réfraction à travers la lentille, reste constant : cet angle est le même que si l'objet était immobile et placé dans le plan principal de la lentille.

Ce que nous venons de dire d'un objet quelconque se rapporte aux caractères de l'échelle d'acuité dont une réduction photographique se trouve devant la lentille.

On comprend aisément que la mesure de l'acuité puisse être faite avec l'optomètre de Badal, puisque, par la photographie, on peut donner aux caractères une hauteur telle qu'ils soient vus sous le même angle que si l'échelle était placée à 6 mètres ; de plus, le résultat de la mesure est le même, que l'œil emmétrope soit au repos ou qu'il accommode.

Tout se passant comme si l'échelle était dans le plan principal de la lentille, la distance est la même pour tous les yeux et égale à 63 millimètres : le rapport de la grandeur $o'$ des lettres vues sous l'angle de $5'$ à la grandeur $o$ des lettres lues par l'œil examiné représente la mesure de l'acuité. C'est donc la seconde méthode (V. p. 19.)

$$V = \frac{o'}{o}.$$

Comme nous avons besoin de nous étendre beaucoup sur la mesure de l'acuité des amétropes par cet optomètre, nous renvoyons le lecteur à ce chapitre spécial.

L'échelle d'acuité de l'optomètre de Badal est une réduction photographique de celle de Snellen et d'une autre juxtaposée, faite avec des signes de cartes à jouer pour les illet-

Digitized by Google

trés. L'épreuve photographique est négative, c'est-à-dire que les caractères paraissent blancs et le fond noir.

A côté de cet optomètre, nous en signalerons plusieurs autres qui, en grande partie, sont des reproductions de celui-ci.

L'optomètre de de Graefe, qui est constitué par une lunette de Galilée, ne donne pas la mesure de l'acuité visuelle et ne doit pas nous retenir plus longtemps.

Celui de MM. Perrin et Mascart est aussi une lunette de Galilée, mais renversée. La valeur minima de l'image rétinienne répond à l'hypermétropie de $\frac{3}{12}$ ou 3[d] et non à l'emmétropie, comme l'a écrit M. Perrin (1).

L'optomètre de Burchardt, publié en Allemagne à la même époque que celui de Badal en France, diffère peu de ce dernier. La lentille est de 20[d]. Sa graduation est plus serrée, ce qui est une condition défavorable puisque chaque intervalle est de $0^{m}0025$.

L'optomètre de Loiseau donne aussi la mesure de l'acuité au moyen d'une échelle de de Wecker réduite par la photographie.

Dans l'optomètre de M. Sous, de Bordeaux, la lentille est de 20[d]. Il renferme aussi une réduction de l'échelle de de Wecker. C'est un optomètre Badal modifié. Le choix de l'oculaire, dit M. Loiseau, ne semble pas heureux : avec un verre aussi fort les divisions de la graduation sont trop rapprochées.

Les optomètres de Hintzy et de Carreras Arago sont des copies exactes de l'optomètre de Badal : même lentille; l'échelle du dernier n'est pas celle de Snellen.

En 1891, Gullstrand (2) a fait construire un optomètre destiné à mesurer l'acuité visuelle ; il donne des images situées au même endroit et de la même grandeur que celles obtenues avec les verres correcteurs dans la méthode de Donders. On peut avec lui, comme d'ailleurs avec celui de Badal, mesurer

---

(1) *Ann. d'ocul.*, t. LXXXV, p. 1.
(2) *Rev. gén. d'ophtal.*, 1891, p. 299.

Digitized by Google

l'acuité en même temps que la réfraction, en employant les échelles typographiques ordinaires. D'après la description qu'en fait son auteur, nous ne voyons pas en quoi cet appareil diffère de celui de Badal.

Nous citerons encore l'optomètre de notre collègue de la Faculté de Paris, M. Mergier, qui permet de mesurer l'acuité (1). Au point de vue de cette seule détermination, il ne diffère pas de celui de Badal. La lentille étant de $20^d$ au lieu de $16^d$, la réduction de l'échelle Snellen a été faite au $\frac{1}{100}$, puisque la distance est de $0^m05$. Lorsque le foyer de la lentille coïncide avec le centre optique de l'œil emmétrope, celui-ci obtient sur sa rétine la même image que celle qu'il obtiendrait des mêmes caractères à 5 mètres.

Dans le chapitre relatif à la mesure de l'acuité chez les amétropes, nous reviendrons sur cet optomètre.

### *Échelles d'acuité de l'auteur.*

Lorsqu'on place une échelle optométrique à un bon éclairement, et qu'en face de cette échelle on met un œil emmétrope ou rendu tel, dont la rétine est saine, on s'aperçoit qu'il lit sans peine les petits caractères à la distance indiquée (5 ou 6 mètres, suivant les modèles). Si on cherche, à l'éclairage du grand jour, la distance maxima à laquelle cet œil peut encore lire cette ligne d'objets-types, on trouve le plus souvent qu'elle est égale à 8 ou 10 mètres. Ce qui veut dire que l'acuité de cet œil est supérieure de beaucoup à l'acuité réputée moyenne.

Tous les ophtalmologistes ont remarqué ce fait, et notre maître, M. Badal, l'a signalé depuis longtemps.

Joy Jeffries (2), de Boston, croit que la vision nette du n° XL de Snellen à 20 pieds ne représente pas le critérium exact de $V = 1$. Lui-même déchiffre le caractère XV à cette même distance; il peut même distinguer des lettres dans le n° VIII.

(1) *Ann. d'ocul.*, 1892, t. CVIII, p. 351.
(2) *Ann. d'ocul.*, 1872, t. LXVII, p. 218.



Digitized by Google

Javal [1] dit que les jeunes sujets ont souvent une acuité plus grande que le n° 1 de l'échelle de Giraud-Teulon, et supérieure de une fois et demie à l'acuité 1 de Snellen; en sorte que l'unité d'acuité devrait être prise plus grande qu'on ne le fait généralement.

Le Dr Maurel, de même que le Dr Parinaud, trouvent que l'angle de 60' est trop grand : l'un propose 50' pour les traits, et l'autre 4' au lieu de 5' pour la hauteur des lettres. C'est aussi l'avis de M. Jackson.

M. Parinaud fait encore remarquer que le numéro D = 5 de Snellen peut être lu à 7 mètres avec un bon éclairage.

Pour M. Steiger [2], les acuités plus grandes que 1 sont assez fréquentes.

Landolt, s'étant aperçu aussi de la fréquence des acuités supérieures à l'unité choisie, a fait ajouter dans son échelle, que nous avons citée plus haut, trois lignes de caractères, permettant, à 5 mètres, de mesurer des acuités égales à 1,25, 1,5 et 2.

M. Armaignac, de Bordeaux [3], ayant remarqué que l'acuité moyenne est souvent supérieure à celle qui est prise pour unité, a fait ajouter à son tableau, dont la dernière ligne doit être lue à 5 mètres par une vue soi-disant normale, une ligne plus petite qui ne devrait être vue qu'à 4 mètres, mais qui est vue à 5 mètres par la plupart des personnes ayant une vision normale. Il ne considère la vision comme normale que lorsque $V = \frac{5}{4}$ et non pas $\frac{5}{5}$.

En Russie, M. Reich [4] a trouvé, en examinant la vue de 311 soldats, les valeurs suivantes :

$V < 1$ chez 5,7 0/0,
$V = 1$ 39,9 0/0,
$V > 1$ 55,3 0/0.

(1) *Ann. d'ocul.*, 1879, t. LXXX, p. 146.
(2) *Loc. cit.*
(3) *Journ. de méd. de Bordeaux*, n° du 7 mai 1893, p. 219.
(4) *Ann. d'ocul.*, t. LXXVII, p. 266.

Digitized by Google

Sur 172 qui avaient une acuité supérieure à 1, il y en avait

70 0/0 chez lesquels $V = \frac{9}{6}$,

22,6 0/0 $V = 2$,

7,5 0/0 $V > 2$.

Ces résultats sont conformes à ceux que nous avons trouvés chez des sujets bien portants : ce qui prouve que les bonnes vues ne sont pas un privilège de la nation russe.

Nous allons même, après les déterminations nombreuses faites par nous, jusqu'à émettre l'avis que tout œil dont l'acuité n'est pas supérieure à l'unité adoptée est un œil qui a une mauvaise acuité, une vue médiocre.

Nous parlerons plus loin de la variation de l'acuité avec l'éclairement; mais nous pouvons dès maintenant signaler l'influence énorme de ce facteur sur la valeur de V.

Qu'on mesure l'acuité d'un œil dans un salon, dans une salle avec rideaux ou appartenant à une maison placée dans une rue étroite et obscure; qu'on la mesure ensuite au grand jour, dehors par exemple, et on verra que la valeur trouvée en second lieu a souvent doublé! Or, quand on veut savoir quelle est l'acuité d'un œil, on doit se placer, nous semble-t-il, dans les meilleures conditions possibles : cette acuité est utilisée par les yeux surtout au grand jour, à la grande lumière, à celle qui dans la vie courante sert le plus souvent, et non pas dans un cabinet mal éclairé dans lequel l'œil dont on mesure l'acuité sera réputé avoir une vue moyenne, alors que sorti de cet appartement, dans la rue, il mettra en jeu une acuité supérieure à celle qui se trouve inscrite sur le registre de l'oculiste.

Pour expliquer les motifs qui ont déterminé Giraud-Teulon, Snellen, à prendre pour acuité moyenne celle qui correspond à un minimum separabile si grand, nous ne voyons que l'influence de l'éclairement; celui dont ils se sont servis était probablement très en-dessous de l'éclairage du grand jour. L'influence

Digitized by Google

du diamètre de la pupille correspondant à l'intensité lumineuse objective doit aussi entrer en ligne de compte.

En utilisant l'éclairement fourni par les rayons naturels qui n'ont pas traversé de corps plus ou moins translucides, nous avons trouvé toujours pour un œil physiologique la valeur de l'acuité supérieure à 1, quel que soit d'ailleurs l'âge du sujet.

C'est précisément pour pouvoir mesurer commodément les acuités supérieures à l'unité adoptée, que nous avons construit les échelles que nous allons décrire. — Nous l'avons dit déjà, on peut mesurer V par le rapport des distances, et effectivement nous l'avons souvent déterminée de cette façon. Mais il faut aller jusqu'à 8, 10, 12 mètres pour trouver la valeur limite exacte de V. Ce n'est pas très commode et pas toujours possible. — Il est plus simple et tout aussi exact de laisser la distance fixe et de faire varier la grandeur des objets-types (2e méthode). C'est ce que nous avons fait.

Nous avons construit deux échelles différentes : l'une est une échelle décimale (Monoyer), l'autre une échelle exprimant l'acuité en fractions ordinaires (Snellen).

Nous avons choisi, comme forme des lettres de ces deux échelles, les caractères latins de Snellen; nous les préférons aux caractères antiques de Green et de Monoyer, parce que leur forme un peu plus compliquée peut donner lieu à des confusions qui permettent de bien préciser le moment où le sujet ne peut plus distinguer nettement les caractères. De plus, elles fournissent, comme le dit Snellen, un point de repère pour le degré et le genre de défaut de l'acuité visuelle. C'est ainsi que dans l'astigmatisme régulier, les caractères compliqués sont la source d'erreurs tellement constantes que l'on peut conclure souvent à l'existence de l'astigmatisme pour cette simple raison.

Quant aux lettres elles-mêmes, nous n'avons pas, comme Green, laissé de côté tous les caractères plus difficilement reconnaissables : ils sont utiles parce qu'ils servent de transition pour les lettres de la série suivante.

Digitized by Google

1° *Échelle décimale.* — Elle comprend neuf lignes d'optotypes; l'épaisseur des traits de chaque lettre est exactement le cinquième de la hauteur. Les dimensions des caractères de chaque ligne ont été calculées de telle façon que l'œil, placé à 5 mètres de l'échelle, ait la même acuité que si, visant la ligne de Snellen qui à 5 mètres est vue sous l'angle de 5′, cet œil en était distant :

| | | |
|---|---|---|
| 1re ligne de | 5m | 50 |
| 2e — | 6 | » |
| 3e — | 6 | 50 |
| 4e — | 7 | » |
| 5e — | 7 | 50 |
| 6e — | 8 | » |
| 7e — | 9 | » |
| 8e — | 10 | » |
| 9e — | 12 | » |

Les dimensions des lettres de chaque ligne sont les suivantes :

| | HAUTEUR. | | LARGEUR DES TRAITS. | |
|---|---|---|---|---|
| 1re ligne... | 6mm | 81 | 1mm | 36 |
| 2e — ... | 6 | 25 | 1 | 25 |
| 3e — ... | 5 | 75 | 1 | 15 |
| 4e — ... | 5 | 35 | 1 | 07 |
| 5e — ... | 5 | » | 1 | » |
| 6e — ... | 4 | 7 | 0 | 94 |
| 7e — ... | 4 | 17 | 0 | 83 |
| 8e — ... | 3 | 75 | 0 | 75 |
| 9e — ... | 3 | 12 | 0 | 62 |

L'acuité visuelle correspondant à la distance fixe de 5 mètres est, pour chaque ligne :

| | |
|---|---|
| 1re ligne | 1,1 |
| 2e — | 1,2 |
| 3e — | 1,3 |
| 4e — | 1,4 |
| 5e — | 1,5 |
| 6e — | 1,6 |
| 7e — | 1,8 |
| 8e — | 2 |
| 9e — | 2,4 |

Digitized by Google

Chaque série de cette échelle comprend cinq lettres. Il est inutile qu'il y en ait un nombre plus grand : c'est l'avis de M. Badal.

Dans l'échelle de Landolt, il y a encore moins d'objets types : trois par ligne ; l'examen n'y perd rien en précision, et il a l'avantage d'être rapide.

Voici les lettres qui composent notre échelle décimale :

| | | | | | | A 5 MÈTRES. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | R | L | C | A | ... | 1,1 |
| D | E | K | S | B | ... | 1,2 |
| T | N | U | H | R | ... | 1,3 |
| A | S | P | V | Z | ... | 1,4 |
| L | C | N | Y | T | ... | 1,5 |
| F | B | D | H | R | ... | 1,6 |
| C | P | N | K | V | ... | 1,8 |
| H | T | C | D | R | ... | 2 |
| E | N | R | H | C | ... | 2,4 |

2° *Échelle (type Snellen).* — C'est sur les conseils de M. Badal que nous avons fait construire cette échelle, de façon à n'être pas obligé, comme avec la première, de prendre une distance constante, mais, au contraire, à pouvoir placer l'œil à une distance quelconque. — Dans cette échelle, les dimensions ont été calculées de la même façon que dans les échelles ordinaires, c'est-à-dire en déterminant par le calcul la hauteur et la largeur des traits des lettres qui, sous l'angle de 5′, sont vues

| | | |
|---|---|---|
| 1re ligne à | | 5m » |
| 2e | — | 4 50 |
| 3e | — | 4 » |
| 4e | — | 3 50 |
| 5e | — | 3 » |
| 6e | — | 2 75 |
| 7e | — | 2 50 |
| 8e | — | 2 » |

Cette échelle n'est donc que la continuation de celle de

Digitized by Google

Snellen, dans laquelle la dernière ligne est vue à 6 mètres sous l'angle de 5′ : la hauteur des lettres de cette ligne est de 8mm5. En partant de cette valeur et en désignant par $x$ la hauteur des optotypes correspondant à la distance $d$, on a la proportion

$$\frac{8,5}{x} = \frac{6}{d},$$

d'où

$$x = d \times \frac{8,5}{6}.$$

On obtient ainsi

| | HAUTEUR. | | LARGEUR DES TRAITS. |
|---|---|---|---|
| 1re ligne... | 7mm08 | ..... | 1mm4 |
| 2e — ... | 6 37 | ..... | 1 27 |
| 3e — ... | 5 66 | ..... | 1 13 |
| 4e — ... | 4 96 | ..... | 0 99 |
| 5e — ... | 4 25 | ..... | 0 85 |
| 6e — ... | 3 9 | ..... | 0 78 |
| 7e — ... | 3 54 | ..... | 0 7 |
| 8e — ... | 2 8 | ..... | 0 56 |

La valeur de l'acuité s'obtient avec cette échelle de la façon suivante : si à 6 mètres un œil distingue les lettres de la 5e ligne, son acuité est

$$V = \frac{o'}{o} \text{ (2e méthode) } \quad \text{ou} \quad \frac{8.5}{4,25} = \frac{6}{3} = 2.$$

On divise donc la grandeur des lettres lues par l'œil d'acuité 1 par celle des lettres que lit, à cette même distance, l'œil examiné ; ou, ce qui donne le même résultat, mais ce qui est moins conforme à la méthode, on divise la distance à laquelle l'œil lit les caractères par le numéro placé au-dessus de ces mêmes caractères.

Pour suivre l'habitude employée, nous avons écrit au-dessus de chaque ligne le numéro correspondant qui est la distance qui permet de voir les optotypes sous l'angle de 5′. Nous le répétons, ce n'est pas ce nombre qui devrait constituer le numéro d'une série, mais bien la hauteur des lettres de chaque série (2e méthode).

Digitized by Google

Nous reproduisons ci-dessous une réduction typographique de notre échelle :

5m

P R L C

4m50

D S K E

4m

T N H R

3m50

A S P V Z

3m

L C Y T N

2m75

F B D H R

2m50

C P N K V

2m

E N R H C

Nos deux échelles ne sont pas, comme la plupart, des échelles typographiques; on ne peut pas, par conséquent, leur reprocher les défauts inhérents à celles-ci. Les lettres ont été dessinées avec le plus grand soin. L'épaisseur des traits a été obtenue en divisant le carré formé par chaque lettre en vingt-cinq petits carrés égaux. De cette façon, l'angle sous lequel chaque trait est vu est bien exactement cinq fois moindre que celui qui correspond à la hauteur. Les lettres n'ont pas été placées de manière à ce que les intervalles soient égaux à la largeur des lettres : nous pensons que chaque lettre porte en elle-même le principe du *minimum separabile*. En effet, pour arriver à lire un caractère d'imprimerie, ***il faut voir nettement tous les traits qui constituent ce caractère;*** or, dans une même lettre majuscule, les traits noirs sont séparés en général par des intervalles blancs de même largeur. D'ailleurs, si on mesure, comme nous l'avons fait très souvent, l'acuité d'un même œil : 1° en lui faisant viser les caractères de la dernière ligne de Snellen à des distances variables, et 2° en lui faisant lire l'une ou l'autre de nos échelles à 5 mètres, ***on trouve***

Digitized by Google

*absolument la même valeur dans les deux cas*. Il est donc inutile de placer les lettres comme l'indiquait Giraud-Teulon, pour observer le principe du minimum separabile. Ainsi, dans l'appareil de Carl, de Francfort, la mesure de l'acuité est faite avec une seule lettre vue isolément. Joy Jeffries s'élève contre la proposition formulée par Green, qui voulait que les caractères soient séparés par des intervalles proportionnels à leur hauteur. L'échelle de Maurel est faite aussi de caractères espacés largement, et ses résultats sont tout à fait semblables à ceux auxquels amènent les autres optotypes.

Nos échelles d'acuité ont été construites non pour le vain plaisir d'en augmenter le nombre, déjà bien considérable, mais parce qu'elles répondent à un besoin, étant donné que physiologiquement et à la lumière du jour l'acuité est toujours plus grande que celle regardée comme acuité moyenne. L'utilité de la détermination de la valeur limite de l'acuité d'un œil est indispensable. Ainsi, dans la mesure du degré des amétropies par la méthode de Donders, nos échelles pourront fournir de meilleurs résultats que celles utilisées d'habitude. En effet, supposons un œil myope ayant une acuité de 1,6 et placé à 6 mètres d'une échelle de Snellen ordinaire. En plaçant des verres de plus en plus forts, cet œil arrive à lire la ligne qui donne $V = 1$ ; à ce moment on s'arrête, puisque le verre interposé a permis à cet œil d'avoir l'acuité moyenne ou réputée telle. Mais puisque le sujet considéré a l'acuité 1,6, le verre qu'on croit mesurer exactement le degré de myopie pourra être faible et ne pas donner à l'œil l'acuité qui lui appartient. En faisant usage de nos échelles, et surtout de l'échelle décimale, on fera une mesure exacte du degré d'amétropie, puisqu'on pourra obtenir la valeur limite de l'acuité.

Nous avons vérifié le fait expérimentalement en déterminant le degré de myopie : 1° avec l'échelle de Snellen ; 2° avec notre échelle décimale. Dans le premier cas, le verre différait toujours de celui correspondant au second cas de $0^d25$ à $0^d50$. Cette différence se conçoit aisément, si on remarque qu'un

Digitized by Google

œil ayant une bonne acuité voit la dernière ligne de Snellen, malgré les cercles de diffusion qui entourent chaque lettre, et provenant de la non complète correction de l'amétropie; au contraire, pour que cet œil puisse lire les caractères correspondant à son acuité 1,8 ou 2, il faudra que l'amétropie soit complètement corrigée.

Une autre circonstance qui démontre l'utilité de nos échelles est la suivante: soit un sujet qui a possédé pendant longtemps l'acuité 1,8; à un moment donné, pour une raison quelconque, cette acuité baisse, et le sujet s'en aperçoit: il demande des conseils à un oculiste, qui le place devant son échelle de Snellen: le sujet pouvant lire encore la ligne qui donne V = 1 est considéré comme ayant une acuité normale, et renvoyé comme non malade; il peut résulter de là des conséquences extrêmement fâcheuses pour le patient malade, puisque sa maladie a pu passer inaperçue. S'il était admis, au contraire, que l'acuité moyenne physiologique est comprise entre 1,5 et 2, de pareilles erreurs ne se produiraient pas. C'est pour cette raison que nous espérons voir bientôt une modification apportée dans la valeur de l'unité d'acuité. C'est une anomalie de voir imprimé dans tous les ouvrages que l'acuité moyenne correspond à un minimum separabile de 1′, quand le plus grand nombre des yeux adultes possèdent une acuité qui correspond, en général, à la valeur du minimum separabile d'Uthoff et de Charpentier.

*Acuité sans correction.*

Lorsqu'on détermine l'acuité chez un amétrope, on corrige d'habitude son amétropie; la mesure de l'acuité est alors représentée par le même nombre, quelle que soit la distance à laquelle se fait cette mesure.

Le prof. Badal a appelé l'attention des ophtalmologistes sur l'*acuité sans correction*.

On comprend facilement qu'un œil amétrope, myope par

Digitized by Google

exemple, ait une acuité égale à 1 pour une faible distance (celle de son remotum), et qu'à une grande distance, il ait une acuité très mauvaise. Nous avons dit au commencement de cette étude que l'acuité dépendait en première ligne de la netteté de l'image rétinienne de l'objet visé. Les cercles de diffusion qui accompagnent, dans un œil myope, l'image donnée par un objet éloigné, expliquent cette très mauvaise acuité.

Il peut devenir nécessaire cependant dans certains cas, comme le fait remarquer M. Badal, de savoir quelle est la valeur de l'acuité sans correction, pour une distance déterminée, soit que le sujet ne veuille pas faire usage de lunettes, soit que sa profession lui en interdise l'emploi (soldats, marins, employés de chemins de fer, etc.).

Pour mesurer l'acuité d'une personne qui ne veut pas ou ne peut pas porter de lunettes, M. Badal conseille de faire deux déterminations : on fait une détermination à 5-6 mètres, qui représente la vision au loin; la seconde, à la distance qui correspond plus spécialement au travail de près (20 à 50 centimètres, suivant les sujets et la nature de leurs occupations).

*Acuité visuelle aux grandes distances.*

M. Gayat [1] s'est demandé si la mesure de l'acuité faite avec les échelles typographiques pouvait être comparée à celle faite à de grandes distances. Il est connu de tous, dit-il, que tel sujet placé en face des échelles pourra bien lire à 20 pieds le n° 20, et être considéré comme ayant une acuité parfaite (?), tout en étant complètement incapable de pointer une pièce d'artillerie à 8,000 mètres ou même de viser à 1,200 mètres avec les nouveaux fusils (modèle 1874).

Nous ferons remarquer de suite qu'un œil qui pour M. Gayat ne possède que l'acuité 1, a, non pas une acuité parfaite, mais une acuité médiocre, comme nous l'avons dit déjà.

---

(1) *Ann. d'ocul.*, t. LXXIV, p. 171.

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, M. Gayat a entrepris des recherches expérimentales pour savoir comment varie l'acuité aux grandes distances.

Nous rapportons une de ses observations, qui nous paraît intéressante.

« Dans la plaine, au sud-ouest de Laghouat, en plein désert, sans arbres ni montagnes à l'horizon, par un ciel sans nuages, et vers le milieu du jour (c'est ce qu'on peut appeler un bon éclairage), nous mettons en observation quatre sous-officiers de tirailleurs algériens (de 25 à 35 ans) en face d'un sous-officier français de $1^m70$ de taille. Il porte un pantalon garance, une capote gris-noir, un képi noir avec simple liséré garance et des épaulettes vertes, un galon rouge large de 2 centimètres au bas de ses manches, pas d'armes ni aucune autre pièce métallique que les boutons de la capote. A 1,000 mètres, deux des tirailleurs disent voir nettement le pantalon et les galons rouges des manches. Ils annoncent que le fantassin pivote sur lui-même, marche en avant ou vient directement vers eux, mouvements dont j'étais convenu en secret et qui devaient être faits à des moments déterminés. Pour moi-même et les deux autres Arabes, à 600 mètres, aucun des mouvements n'était perceptible. Il fallait pour les constater que le fantassin marchât obliquement ou dans un sens latéral par rapport à nous et par rapport au point où il se tenait primitivement. Cependant les quatre tirailleurs avaient comme nous une acuité $> 1$, trois étant emmétropes, et le quatrième, un de ceux qui voyaient le moins bien, étant légèrement hypermétrope. Mais à 550 mètres, nous reconnaissions tous les oscillations de la tête et le pivotement du corps sur lui-même. A 400 mètres, les deux premiers tirailleurs disent voir la bouche; pour les trois autres, et avec une concordance parfaite, ces mêmes détails ne sont perceptibles qu'en faisant approcher le fantassin à 320 mètres.

» A 300 mètres, chacun de nous reconnaît la couleur châtain de la barbe, l'échancrure du col de la capote, les épaulettes

Digitized by Google

vertes. Les deux premiers tirailleurs prétendent lire le chiffre unique du bataillon, haut de 3 centimètres, jaune sur fond noir. Les autres n'en distinguent que l'emplacement. »

M. Gayat fait suivre cette observation des réflexions suivantes :

« Pour comparer la valeur de l'acuité mesurée par les échelles et sa valeur à grande distance, choisissons la distance à laquelle, dans nos expériences, tout le monde a reconnu quelque détail de la figure du fantassin. Si nous donnons à la figure une hauteur moyenne de 20 centimètres, nous voyons qu'un caractère typographique de cette dimension doit être lu, d'après le calcul, à la distance de 660 mètres, tandis que, d'après l'expérience, ces détails ne sont perçus *par des personnes ayant l'acuité normale,* et dans les meilleures conditions d'éclairage, qu'à 300 mètres. Nous ne multiplierons pas ces rapprochements, qui établissent suffisamment la différence des résultats entre la méthode expérimentale et la méthode mathématique pour la détermination de l'acuité aux grandes distances. »

Nous ne sommes pas d'accord avec M. Gayat sur plusieurs points. D'abord, si on fait le calcul de la distance à laquelle un caractère typographique de 20 centimètres doit être vu sous l'angle de 5', on trouve 155 mètres au lieu de 660 mètres. M. Gayat a fait un calcul qui se rapporte à un caractère typographique dont l'épaisseur du trait serait de 20 centimètres, ce qui donnerait à ce caractère une hauteur de 1 mètre!

Cet objet est vu, dit M. Gayat, à 300 mètres, ce qui est sensiblement le double de 155 mètres; cela s'explique simplement si les acuités des yeux choisis étaient voisines de 2. Et, en effet, M. Gayat dit bien que l'acuité de chacun était supérieure à 1 : il est regrettable qu'il n'ait pas mesuré *exactement* la valeur de V. De cette façon, il est très probable que le calcul et l'expérience auraient été parfaitement d'accord. Nous ne voyons pas, en effet, de raison qui ferait que l'acuité n'aurait pas la même valeur à une distance de 60 mètres qu'à

Digitized by Google

une de 300 mètres, du moment que l'angle qui mesure l'acuité est le même dans les deux cas.

Une seule cause pourrait produire une différence : c'est la plus ou moins grande transparence de l'air, qui peut être troublée par des poussières ou de la vapeur d'eau.

L'expérience intéressante de M. Gayat prouve que nous avons raison de dire que la majorité des yeux physiologiques ont une acuité voisine de 2 à un bon éclairage (c'était bien le cas où s'est placé M. Gayat), que la détermination soit faite à 5 mètres ou à 300 mètres.

---

Digitized by Google

# VI

## Acuité vraie et acuité apparente des amétropes.

---

Nous avons défini l'acuité visuelle l'inverse du plus petit *angle* sous lequel un œil peut encore distinguer la forme d'objets donnés, et nous avons vu que la valeur de cet angle correspondant à l'unité d'acuité avait été prise égale à 1'. Les échelles d'acuité sont construites sur cette base.

Or, comme l'a fait remarquer M. Badal [1], lorsqu'un œil amétrope est corrigé, l'angle correspondant à une série donnée de l'échelle d'acuité n'est plus le même que dans le cas d'un œil emmétrope. Le verre correcteur, en produisant l'égalité des images rétiniennes, a pour effet de diminuer cet angle dans la myopie et de l'augmenter dans l'hypermétropie.

Si, au contraire, l'œil amétrope n'était pas corrigé, à une même lettre correspondrait le même angle dans tous les yeux (voir fig. 2 et fig. 3).

En présence de la perturbation apportée par l'interposition du verre correcteur, on est en droit de se demander s'il ne vaudrait pas mieux prendre pour mesure de l'acuité la grandeur des images rétiniennes au lieu de l'angle visuel.

On peut, en effet, concevoir que la mesure de l'acuité soit faite en prenant pour unité celle d'un œil qui distinguerait nettement un objet dont la grandeur de l'image rétinienne serait par exemple 0,004. Dans ces conditions, la mesure de V se ferait toujours en produisant l'égalité des images rétiniennes.

---

(1) *Soc. d'ophtalm. et de laryng. de Bordeaux,* séance de mai 1893.

Digitized by Google

Nous pensons qu'il est inutile de changer la méthode de détermination de l'acuité, mais qu'il est utile de séparer la mesure faite en laissant l'angle constant pour tous les yeux, de la mesure faite avec modification de l'angle visuel.

L'acuité qui, chez les amétropes, correspond à la constance de l'angle visuel, est celle que possède l'œil amétrope quand il n'est pas corrigé, l'image rétinienne étant cependant *nette*. Pour cela, il faut que cet œil reçoive les rayons émanant des caractères de l'échelle d'acuité, comme si elle était à son punctum remotum, sans que, pourtant, la valeur de l'angle soit autre que celle qui correspond à la distance habituelle de la mesure de l'acuité (5 ou 6 mètres). Ces deux conditions sont parfaitement réalisées avec l'optomètre du prof. Badal.

L'acuité d'un œil amétrope déterminée en conservant l'angle constant est celle qu'a cet œil sans le secours de son verre correcteur, celle qui n'est due qu'à lui seul : nous proposons de l'appeler *acuité vraie* de l'œil amétrope.

Au contraire, lorsque l'amétropie d'un œil est corrigée, les images rétiniennes sont égales, mais l'angle sous lequel un même objet est vu varie : l'acuité qui correspond à des angles visuels variables, celle que *paraît* avoir l'œil muni de son verre correcteur, nous proposons de l'appeler *acuité apparente* de l'œil amétrope.

L'acuité vraie d'un œil amétrope a plus qu'un intérêt théorique : c'est celle dont, par exemple, un œil myope se sert lorsqu'il lit des caractères placés à son remotum sans le secours de ses lunettes, ce qui arrive souvent à de tels yeux.

Il nous semble que c'est cette acuité vraie, due à l'œil lui-même et rien qu'à lui, qui doit entrer en ligne de compte lorsqu'on étudie la variation de l'acuité avec l'âge, et non pas l'acuité apparente qui est due au système dioptrique formé par la lentille correctrice et l'œil.

Nous allons calculer, élémentairement, quelle est la relation qui existe entre ces deux acuités.

Digitized by Google

## 1° *Amétropies axiles.*

1° *Myopie.* — Considérons un œil myope dont le centre optique est K; l'objet AB, le plus petit que l'œil puisse distinguer, produit sur la rétine de cet œil *non corrigé* une image rétinienne MM' qui sera nette si, par un dispositif approprié (optomètre de Badal), l'œil voit l'objet comme étant à son punctum remotum, mais sous l'angle AKB égal à celui sous lequel l'objet serait vu à distance.




Fig. 9.

Lorsque l'œil est muni de son verre correcteur, la même portion de la rétine correspond à un objet de grandeur différente de AB; puisque le verre correcteur produit l'égalité des images rétiniennes, l'objet qui fournit, l'œil étant corrigé, l'image MM', a une grandeur telle que dans l'œil emmétrope il produit une image rétinienne EE' = MM'; il suffit donc de joindre E'K et on a l'objet A'B > AB. Nous allons calculer la valeur de l'acuité vraie de cet œil myope, en fonction de son acuité apparente.

L'acuité apparente, c'est-à-dire celle que possède l'œil quand il est muni du verre correcteur, est

$$V_a = \frac{o}{A'B},$$

*o* étant la grandeur de l'objet qui, à la même distance, est vu sous l'angle de 5', et AB étant supposé le plus petit caractère de l'échelle que l'œil puisse lire.



Digitized by Google

L'acuité vraie du même œil est

$$V = \frac{o}{AB}.$$

Le rapport de l'acuité vraie à l'acuité apparente est, par conséquent,

$$\frac{V}{V_a} = \frac{\frac{o}{AB}}{\frac{o}{A'B}} = \frac{A'B}{AB}.$$

Or, les triangles semblables A'BK et EE'K donnent la proportion

$$\frac{A'B}{BK} = \frac{EE'}{KE},$$

d'où

$$A'B = BK \cdot \frac{EE'}{KE}.$$

Dans les triangles ABK et MM'K, on a

$$\frac{AB}{BK} = \frac{MM'}{KM},$$

d'où

$$AB = BK \times \frac{MM'}{KM}.$$

Puisque, par construction, EE' = MM', on peut écrire

$$\frac{A'B}{AB} = \frac{KM}{KE},$$

et

$$\frac{V}{V_a} = \frac{KM}{KE},$$

ou

$$\frac{V}{V_a} = \frac{KM}{KE} = \frac{KE + EM}{KE} = 1 + \frac{EM}{KE}.$$

La distance EM de la rétine de l'œil myope à celle de l'œil emmétrope est, comme nous le savons, égale au produit $N.\varphi.\varphi'$ (page 28). KE étant ce que nous appelons $\varphi$, il vient

$$V = V_a\left(1 + \frac{N\varphi\varphi'}{\varphi}\right) = V_a(1 + N\varphi').$$

Digitized by Google

La valeur $\varphi'$ est 0,020 dans l'œil réduit ; par suite,

$$V = V_a (1 + 0{,}02 \times N).$$

Cette formule montre que l'acuité vraie d'un œil myope axile est plus grande que l'acuité apparente.

Pour donner une idée des valeurs respectives de ces deux acuités, supposons le cas d'un œil myope de 6 dioptries avec une acuité apparente (mesurée avec le verre correcteur) de 1,3 ou $\frac{6,5}{5}$.

En appliquant la formule à laquelle nous arrivons, on a

$$V = 1{,}3 (1 + 0{,}02 \times 6) = 1{,}45 \quad \text{ou} \quad \frac{7,30}{5}.$$

Ce qui veut dire qu'à 7m30 d'une échelle d'acuité, cet œil non corrigé, en recevant les rayons lumineux comme s'ils venaient de son punctum remotum (ce qu'on obtient facilement avec l'optomètre de Badal), peut lire les caractères qui sont distingués à 5 mètres par l'œil d'acuité 1 ; tandis que si la myopie est corrigée, il est obligé de se placer à 6m50 de ces mêmes lettres : il ne pourra donc distinguer ces caractères qu'en se plaçant à 80 centimètres plus près.

2° *Hypermétropie.* — Soit un œil hypermétrope dont la rétine est en H, celle de l'œil emmétrope étant en E. Un objet AB fournit sur la rétine de l'œil non corrigé une image HH'. Lorsque l'œil est muni de son verre correcteur, l'objet qui impressionne la même partie de la rétine est celui qui forme sur celle de l'emmétrope une image EE' égale et dont la grandeur est déterminée en joignant E'K. On a ainsi l'objet A'B < AB.




Fig. 10.

Digitized by Google

L'acuité vraie de cet œil est, comme dans le cas précédent,

$$V = \frac{o}{AB}.$$

Son acuité apparente est de même

$$V_a = \frac{o}{A'B}.$$

Le rapport de ces deux acuités est

$$\frac{V}{V_a} = \frac{\frac{o}{AB}}{\frac{o}{A'B}} = \frac{A'B}{AB}.$$

Les triangles A'BK et EE'K donnent

$$\frac{A'B}{BK} = \frac{EE'}{KE},$$

d'où on tire

$$A'B = BK \cdot \frac{EE'}{KE}.$$

De même, dans les triangles ABK et HH'K, on a

$$\frac{AB}{BK} = \frac{HH'}{KH},$$

d'où

$$AB = BK \cdot \frac{HH'}{KH}.$$

Par suite,

$$\frac{A'B}{AB} = \frac{KH}{KE}.$$

Or,

$$KH = KE - EH.$$

La distance EH = $N\varphi\varphi'$, ce qui donne

$$\frac{V}{V_a} = 1 - \frac{N\varphi\varphi'}{\varphi} = 1 - N\varphi',$$

ou

$$V = V_a\,(1 - 0{,}02.N).$$

Cette expression montre que l'acuité vraie d'un œil hypermétrope axile est plus petite que son acuité apparente.

Digitized by Google

Exemple : Supposons un œil hypermétrope de 4 dioptries ayant une acuité apparente (avec le verre correcteur) égale à 1,2 ou $\frac{6}{5}$.

On a

$$V = 1,2\,(1 - 0,02 \times 4) = 1,1 \quad \text{ou} \quad \frac{5.50}{5}.$$

Ce qui veut dire que si cet œil hypermétrope non corrigé et n'accommodant pas recevait des rayons convergeant vers son punctum remotum virtuel et émanant des caractères de l'échelle qui, à 5 mètres, correspondent à l'acuité 1, il faudrait que cet œil se place à 5^m^50 pour lire ces caractères qu'il distinguait, avec son verre correcteur, à la distance de 6 mètres.

En résumant dans une même formule l expression de l'acuité vraie des yeux amétropes axiles, en fonction de leur acuité apparente, on a

$$V = V_a\,(1 \pm 0,02 \times N).$$

*2° Amétropies de courbure.*

Lorsqu'on place le verre correcteur d'une amétropie de courbure en contact avec la cornée de l'œil, les images rétiniennes sont égales à celles de l'emmétrope. Dans ces conditions, l'œil a une acuité que nous appelons acuité *apparente*, par opposition à l'acuité *vraie*, cette dernière étant l'acuité que possède l'œil non corrigé, et correspondant à des angles visuels égaux. Cette acuité, disons-le de suite, ne peut être déterminée que par l'optomètre de Badal.

1° *Myopie.* — Soit un œil myope dont le centre optique est en $K_1$, celui de l'emmétrope étant en K. Un objet AB forme sur la rétine de cet œil l'image EM, lorsque la myopie n'est pas corrigée. Cette image sera nette si les rayons, tout en tombant sur l'œil sous l'angle $AK_1B$, paraissent venir du punctum remotum de cet œil. Lorsque le verre correcteur est placé devant l'œil, la même portion de la rétine correspond à l'objet qui dans l'œil emmétrope formerait une image rétinienne égale,

Digitized by Google

c'est-à-dire à l'objet A'B obtenu en joignant M au centre optique K de l'emmétrope.




Fig. 11.

Comme le montre la figure, A'B est plus grand que AB.

L'acuité vraie de cet œil est

$$V = \frac{o}{AB},$$

*o* étant la grandeur de l'objet qui, à la même distance, est vu sous l'angle de 5'.

L'acuité apparente est évidemment

$$V_a = \frac{o}{A'B}.$$

Le rapport de ces deux acuités est

$$\frac{V}{V_a} = \frac{\frac{o}{AB}}{\frac{o}{A'B}} = \frac{A'B}{AB}.$$

Dans les triangles A'BK et KEM, on a

$$\frac{A'B}{BK} = \frac{EM}{KE}, \quad \text{d'où} \quad A'B = BK \cdot \frac{EM}{KE}.$$

Les triangles $ABK_1$ et $K_1EM$ donnent de même

$$\frac{AB}{BK_1} = \frac{EM}{K_1E},$$

d'où

$$AB = BK_1 \times \frac{EM}{K_1E}.$$

Digitized by Google

Les distances BK et $BK_1$ étant très sensiblement égales,

$$\frac{A'B}{AB} = \frac{K_1E}{KE}$$

et

$$\frac{V}{V_a} = \frac{K_1E}{KE} = 1 + \frac{KK_1}{KE},$$

$$KE = \varphi = 15^{mm} \quad \text{et} \quad PK = 5^{mm}.$$

Pour exprimer $KK_1$, on a

$$KK_1 = PK - PK_1 = 5 - PK_1.$$

PK, qui est le rayon de courbure de l'œil myope, a pour valeur numérique, en remplaçant $n$ par $\frac{4}{3}$,

$$r = \frac{e}{3eN + 4} = \frac{20}{3 \times 20.N + 4} = \frac{5}{15N + 1},$$

et

$$KK_1 = \frac{5 \times 15N}{15N + 1},$$

ce qui donne

$$\frac{V}{V_a} = 1 + \frac{\frac{5 \times 15N}{15N + 1}}{15} = 1 + \frac{5N}{15N + 1},$$

d'où

$$V = V_a\left(1 + \frac{5N}{15N + 1}\right).$$

On voit que l'acuité vraie est, comme pour la myopie axile, plus grande que l'acuité apparente.

*Exemple.* — Supposons un œil myope de 6 dioptries ayant une acuité apparente de $\frac{2}{3}$ ou $\frac{3.30}{5}$ : son acuité vraie est

$$V = \frac{2}{3}\left(1 + \frac{5 \times 4}{15 \times 4 + 1}\right) = \frac{4.40}{5}.$$

Au lieu de se placer à $3^m30$ pour lire les caractères que l'œil d'acuité 1 lit à 5 mètres, l'œil non corrigé lirait ces mêmes lettres à $4^m40$ (ou à $1^m10$ plus loin) s'il recevait de ces caractères les rayons tombant dans la direction de son remotum.

2° *Hypermétropie.* — Soit un œil hypermétrope dont le

Digitized by Google

centre optique est en $K_1$, celui de l'emmétrope étant en K. Un objet AB forme l'image rétinienne EH, qui sera nette si les rayons, tout en tombant sous le même angle $AK_1B$, paraissent venir du remotum de cet œil. Lorsque le verre correcteur est placé en contact avec la cornée, la même portion de la rétine correspond à un objet dont la grandeur est celle de l'objet qui, dans l'œil emmétrope, donne la même image rétinienne, et qu'on détermine en joignant HK. On obtient ainsi A'B < AB.

L'acuité vraie de cet œil est

$$V = \frac{o}{AB}.$$

Son acuité apparente est

$$V_a = \frac{o}{A'B},$$

et le rapport des deux acuités

$$\frac{V}{V_a} = \frac{A'B}{AB}.$$

Les triangles A'BK et KEH donnent

$$\frac{A'B}{BK} = \frac{EH}{KE} \quad \text{d'où} \quad A'B = BK \cdot \frac{EH}{KE}.$$




Fig. 12.

Dans les triangles $ABK_1$ et $K_1EH$, on a

$$\frac{AB}{BK_1} = \frac{EH}{K_1E},$$

d'où

$$AB = BK_1 \times \frac{EH}{K_1E}.$$

Digitized by Google

Par suite :

$$\frac{V}{V_a} = \frac{K_1E}{KE} = 1 - \frac{KK_1}{KE}.$$

La distance $KK_1$, étant comptée ici à droite du point K, doit être affectée du signe —, en sorte qu'on a

$$\frac{V}{V_a} = 1 - \frac{-KK_1}{KE} = 1 + \frac{KK_1}{KE}.$$

La valeur numérique de $PK_1$ est

$$PK_1 = \frac{5}{1 - 15N},$$

et

$$KK_1 = \frac{5}{1 - 15N} - 5 = \frac{5 \times 15N}{1 - 15N}.$$

Ce qui donne

$$\frac{V}{V_a} = 1 + \frac{\frac{5 \times 15N}{1 - 15N}}{15} = 1 + \frac{5N}{1 - 15N},$$

ou

$$V = V_a\left(1 + \frac{5N}{1 - 15N}\right) = V_a\left(1 - \frac{5N}{(15N - 1)}\right).$$

On voit que l'acuité vraie est plus petite que l'acuité apparente.

*Exemple.* — Supposons un œil hypermétrope de 4 dioptries ayant une acuité apparente égale à 1.

On a

$$V = 1\left(1 - \frac{5 \times 4}{15 \times 4 - 1}\right) = \frac{3.30}{5}.$$

Cet œil hypermétrope muni de son verre correcteur peut lire à 5 mètres les caractères que l'œil d'acuité 1 lit à 5 mètres, tandis que, sans correction, quand les rayons émanant de ces lettres tombent en convergeant vers son punctum remotum (optomètre de Badal), son acuité n'est plus que de $\frac{3.30}{5} = \frac{2}{3}$, ce qui correspond à un rapprochement de l'œil de 1m60.

Digitized by Google

En résumant en une seule formule la valeur de V en fonction de l'acuité apparente des amétropes, on a

$$V = V_a \left(1 \pm \frac{5N}{15N \pm 1}\right).$$

*Influence des verres correcteurs sur l'acuité visuelle.*

Certains auteurs se sont préoccupés de chercher de quelle façon l'acuité visuelle des yeux amétropes était modifiée par le verre correcteur.

Woinow, de Moscou (1), évalue l'influence du verre correcteur en comparant la tangente de l'angle visuel de l'œil corrigé à celle de l'œil nu : il trouve que ce rapport est

$$\frac{f}{V + x},$$

$f$ étant la distance focale du verre correcteur, et $x$ la distance du verre au premier point nodal.

Knapp (2) appelle mesure inexacte de l'acuité visuelle celle qui est faite sans tenir compte de l'effet produit par les verres de lunettes. Il trouve :

1° Qu'une lentille convexe de 10$^d$ placée devant un œil hypermétrope, visant à distance, augmente la dimension de l'image rétinienne dans le rapport de $\frac{1,08}{1}$;

2° Qu'une lentille concave de même puissance, neutralisant à distance la réfraction d'un œil myope, diminue au contraire l'image rétinienne dans le rapport de $\frac{0,93}{1}$.

Knapp a construit un tableau donnant, pour chaque numéro des verres positifs et négatifs, l'effet amplifiant (position négative) en mettant en regard les distances correspondantes pour obtenir l'acuité 1.

Donders s'est aussi occupé de la question que nous étudions (3) : il appelle acuité visuelle absolue celle qui est déterminée quand on fait regarder un objet très éloigné avec ou sans verre correcteur, l'accommodation étant au repos. Il

(1) *Ann. d'ocul.*, t. LXX, p. 185.
(2) *Ann. d'ocul.*, t. LXVII, p. 216.
(3) *Ann. d'ocul.*, t. LXXI, p. 69.

Digitized by Google

désigne par acuités relatives celles qu'on obtient en faisant regarder des objets à différentes distances, soit en employant des verres correcteurs, soit en provoquant des efforts d'accommodation. Il représente l'acuité relative $v$ par la formule $v = V.q$.

Il établit ses calculs sur l'œil schématique et fait par conséquent intervenir les considérations des points cardinaux du système. Il trouve pour la valeur de $q$

$$q = \frac{g''_2}{15}.$$

$g''_2$ est la distance du second point nodal à la rétine. Donders ne considère que le cas des amétropies axiles, le verre correcteur étant dans le plan focal antérieur de l'œil. Pour évaluer $g''_2$ dans le cas de la myopie, il faut ajouter à 15 millimètres la distance $\varepsilon$ de la rétine de l'œil myope à celle de l'emmétrope; cette longueur $\varepsilon$ est égale à $N.f.f'$ ou à $0^{mm}3 \times N$.

La valeur de $q$ est alors

$$q = \frac{15 \pm 0.3 \times N}{15}.$$

Nos calculs élémentaires nous ont conduit au même résultat dans le cas des amétropies axiles.

Considérant le cas où le verre est placé à des distances variables de l'œil, le savant ophtalmologiste d'Utrecht se demande à quel moment on doit cesser de parler d'augmentation d'acuité visuelle et où on doit parler de grossissement. Il propose la distance de 5 centimètres comme dernière limite.

Enfin, Gullstrand (1) appelle acuité absolue d'un œil amétrope axile celle qui, à distance, est donnée après correction de l'amétropie, et il appelle acuité relative celle qui est obtenue à faible distance quand il y a accommodation.

On voit combien tous ces termes d'acuités absolue et relative sont appliqués différemment. L'étude méthodique que nous faisons de la question éclairera, nous l'espérons, le lecteur sur ce point.

(1) *Rev. gén. d'ophtalm.*, 1891, p. 209.

Digitized by Google

Les formules que nous avons établies permettent très facilement de se rendre compte de l'influence des verres correcteurs sur l'acuité visuelle dans chaque genre d'amétropie.

La valeur de l'acuité apparente dans la myopie axile est

$$V_a = \frac{V}{1 + 0{,}02 + N}.$$

Pour la myopie de courbure, on a

$$V_a = \frac{V}{1 + \frac{5N}{15N + 1}} = \frac{V\,(15N + 1)}{20N + 1}.$$

En donnant à N les valeurs successives 1, 2, 3, ..., 10 dans les deux cas, on trouve :

1° *Myopie axile.*

| DEGRÉ DE LA MYOPIE. | VALEUR DE $V_a$. |
|---|---|
| 1^D .............. | 0,98 .V |
| 2 .............. | 0,961.V |
| 3 .............. | 0.943.V |
| 4 .............. | 0.926.V |
| 5 .............. | 0.91 .V |
| 6 .............. | 0.89 .V |
| 7 .............. | 0.87 .V |
| 8 .............. | 0.86 .V |
| 9 .............. | 0.84 .V |
| 10 .............. | 0,833.V |

2° *Myopie de courbure.*

| DEGRÉ DE LA MYOPIE. | VALEUR DE $V_a$. |
|---|---|
| 0,1 | 0,83 .V |
| 0,2 | 0,80 .V |
| 1 .............. | 0,762 .V |
| 2 .............. | 0.756 .V |
| 3 .............. | 0,754 .V |
| 4 .............. | 0,753 .V |
| 5 .............. | 0,7524.V |
| 6 .............. | 0,7520.V |
| 7 .............. | 0.751 .V |
| 8 .............. | 0,75 .V |

Digitized by Google

On peut, avec ces valeurs de $V_a$, construire la courbe, pour chaque espèce de myopie, indiquant la variation de l'acuité apparente avec le degré de myopie. Cette courbe est la représentation de l'influence des verres correcteurs sur l'acuité des myopes.



Influence des verres correcteurs sur l'acuité visuelle.

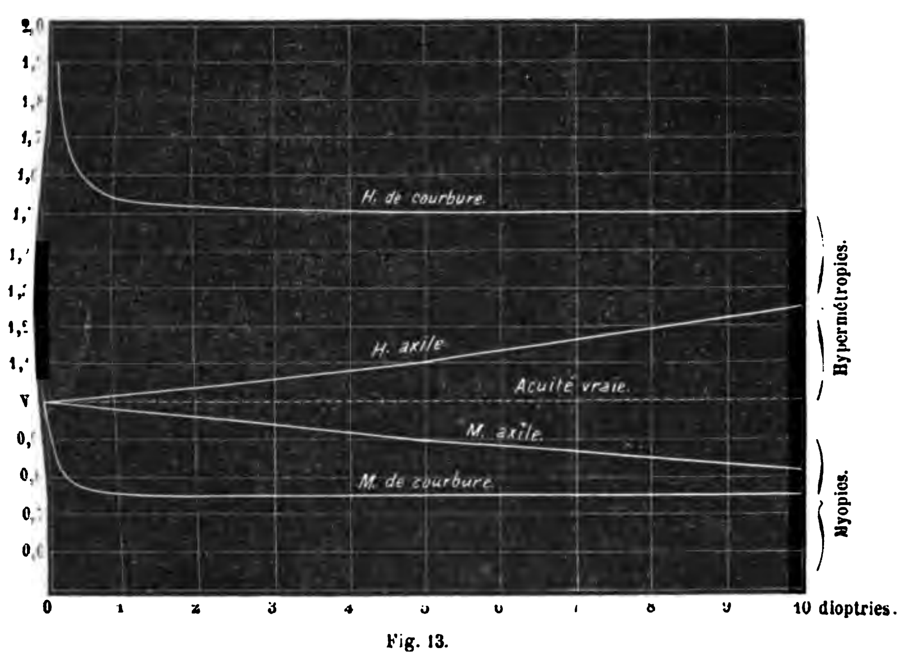



Fig. 13.

On peut constater que les ordonnées de la courbe correspondant aux myopies de courbure sont plus petites pour la même valeur de N. Nous verrons l'importante conséquence qu'on peut en tirer.

La valeur de l'acuité apparente dans l'hypermétropie axile est

$$V_a = \frac{V}{1 - 0{,}02N}.$$

Dans l'hypermétropie de courbure, elle est

$$V_a = \frac{V}{1 - \frac{5N}{15N - 1}} = \frac{V\,(15N - 1)}{10N - 1}.$$

Digitized by Google

En donnant à N les valeurs successives 1, 2, 3, ..., 10 dioptries, on obtient :

1° *Hypermétropie axile.*

| DEGRÉ DE L'HYPERMÉTROPIE. | VALEUR DE $V_a$. |
|---|---|
| $1^D$ | 1,02.V |
| 2 | 1,04.V |
| 3 | 1,06.V |
| 4 | 1,08.V |
| 5 | 1,11.V |
| 6 | 1,13.V |
| 7 | 1,16.V |
| 8 | 1,19.V |
| 9 | 1,22.V |
| 10 | 1,25.V. |

2° *Hypermétropie de courbure.*

| DEGRÉ DE L'HYPERMÉTROPIE. | VALEUR DE $V_a$. |
|---|---|
| $0^D$,5 | 1.625.V |
| 1 | 1,55 .V |
| 2 | 1,520.V |
| 3 | 1,517.V |
| 4 | 1,512.V |
| 5 | 1,510.V |
| 6 | 1,508.V |
| 7 | 1.507.V |
| 8 | 1.506.V |
| 9 | 1,505.V |
| 10 | 1,50 .V |

Si, avec ces valeurs, on construit une courbe pour chaque genre d'hypermétropie, on obtient la représentation graphique de l'influence des verres correcteurs sur l'acuité des hypermétropes. (Voir la figure précédente.) Les ordonnées de l'hypermétropie de courbure sont plus grandes que celles de l'hypermétropie axile : c'est l'inverse de ce qui a lieu pour la myopie.

Digitized by Google

Pour expliquer, dans le cas des amétropies axiles, l'influence des verres correcteurs sur la valeur de l'acuité visuelle, Knapp admet comme étant démontré que le nombre des éléments rétiniens est le même dans tous les yeux; en sorte que dans l'œil hypermétrope les éléments sont plus ramassés, et dans l'œil myope plus écartés. Par conséquent, dans l'œil hypermétrope, l'étendue limitée sur la rétine par le même angle contient plus d'éléments sensibles que dans l'œil emmétrope; par suite, la même grandeur d'image rétinienne affecterait plus d'éléments et serait vue plus distinctement et agrandie : les verres convexes augmentent donc la puissance de perception. Pour la myopie, Knapp trouve que ce doit être le contraire.

Cette explication ne peut guère être admise, car les images rétiniennes considérées dans la mesure de l'acuité se forment sur la macula, dont les dimensions doivent peu varier; de plus, pour les amétropies de courbure dans lesquelles la surface rétinienne ne change pas, il est impossible de faire cette hypothèse.

Widmark, de Stockholm, a aussi étudié l'influence des verres correcteurs sur l'acuité visuelle (apparente); il ne s'est occupé que de la myopie, sans rechercher si elle était axile ou de courbure. Dans ce but, il a étudié l'acuité des élèves des écoles de Stockholm, et il a tracé la courbe (que nous reproduisons) en prenant pour ordonnées les différentes valeurs de V, et pour abscisses les degrés successifs de myopie depuis 0 jusqu'à 8 dioptries. Cette courbe montre que l'acuité de ces

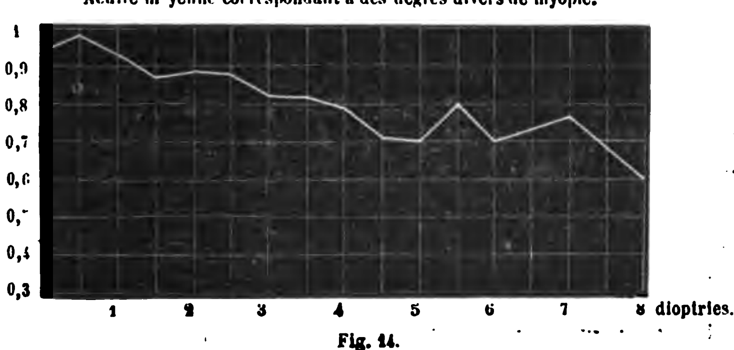



Fig. 14.

yeux myopes corrigés va en diminuant assez régulièrement jusqu'à 4 dioptries ; de 4d5 à 8 dioptries, elle subit des fluctuations très irrégulières. Widmark (1) n'explique pas cette bizarrerie de forme de sa courbe qui représente des moyennes. On est étonné, en effet, *a priori*, de ce que la variation de l'acuité soit aussi capricieuse entre 4d5 et 8 dioptries.

L'explication de ce résultat assez intéressant se trouve dans l'examen des courbes que nous avons tracées plus haut, et qui représentent la variation de l'acuité des yeux myopes corrigés avec le degré de myopie.

Si on rapproche la courbe de Widmark des nôtres, on voit que les points qui correspondent à 4d5, à 6 dioptries et à 8, se rapportent à la variation de l'acuité pour les myopies *de courbure;* qu'à 5d5 et à 7 dioptries, les points de la courbe de Widmark se rapportent à des myopies *axiles*.

L'explication tirée de la comparaison des courbes construites d'après nos calculs avec celle de Widmark paraît être celle-ci : les myopes examinés ayant 4d5, 5, 6 et 8 dioptries de myopie étaient en grande partie des myopes de courbure ; au contraire, ceux de 5d5 et de 7 dioptries étaient des myopes axiles. Quant aux myopies de 1 dioptrie à 4d5, elles étaient en grande partie des myopies axiles.

Les déterminations expérimentales pouvant être interprétées par les résultats fournis par nos calculs, ceux-ci acquièrent par là même plus qu'une importance théorique.

Berry (2) a fait également un grand nombre de déterminations pour savoir de quelle façon varie l'acuité avec les amétropies axiles; il arrive à cette conclusion que l'acuité visuelle (apparente) après correction complète de l'amétropie est inférieure dans la myopie à l'acuité des emmétropes, et que dans l'hypermétropie elle lui est supérieure.

D'autre part, Seggel (3), ayant déterminé l'acuité visuelle

(1) *Rev. gén. d'ophtalm.*, 1887, p. 36.
(2) *Rev. gén. d'ophtalm.*, 1887, p. 89.
(3) *Ann. d'ocul.*, t. XCIV, p. 137.

Digitized by Google

sur 1,560 soldats de 20 à 25 ans, a trouvé que chez les myopes l'acuité (apparente) est plus faible que chez les emmétropes, et qu'elle descend proportionnellement au degré de la myopie (résultat conforme à notre courbe); mais, contrairement aux recherches de Berry, il trouve que l'acuité des hypermétropes est, elle aussi, plus faible que chez les emmétropes. Ce résultat contradictoire est expliqué par les déterminations de Nimier [1]. Celui-ci, en effet, se basant sur l'examen de 1,116 yeux hypermétropes, a reconnu qu'il y avait une diminution de l'acuité chez beaucoup de ces yeux : ce qui tient à ce que, comme il l'a constaté très souvent, l'œil hypermétrope est, de plus, astigmate. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que les raisonnements faits sur les amétropies sphériques ne s'appliquent plus à l'astigmatisme.

C'est de la même façon qu'on ne peut pas appliquer ce que nous avons établi pour la myopie physiologique stationnaire, à la myopie progressive ou véritable état pathologique du fond de l'œil.

---

(1) *Rev. gén. d'ophtalm.*, 1890, p. 379.

---



Digitized by Google

## VII

**Détermination de l'acuité des yeux amétropes par l'optomètre du prof. Badal.**

Nous avons déjà fait entrevoir qu'il n'y avait que l'optomètre permettant de déterminer l'acuité vraie d'un œil amétrope; la mesure que l'on fait à distance et avec le verre correcteur est celle de l'acuité apparente.

Parmi les nombreux optomètres que nous avons cités plus haut, nous ne considérerons que celui de Badal, dont un grand nombre dérivent.

En présentant son optomètre, M. Badal n'avait considéré que le cas où le foyer de la lentille de l'appareil coïncidait avec le point nodal ou centre optique de l'œil, ce qui permettait d'avoir la valeur mathématique du degré d'amétropie (1).

Giraud-Teulon, au contraire, a donné la théorie de cet appareil en supposant le foyer de la lentille en coïncidence avec le foyer antérieur de l'œil : « Dans ces conditions, dit M. Badal (2), on détermine le numéro des verres correcteurs de la même façon que par la méthode de Donders, dans laquelle on place le verre dans le plan focal antérieur de l'œil. »

Dès cette époque (1876), l'appareil fut construit de manière à pouvoir faire coïncider avec le foyer de la lentille de l'optomètre, soit le centre optique, soit le foyer antérieur de l'œil : c'est ce qui a fait dire à M. Loiseau « qu'on aurait mauvaise grâce à reprocher à cet appareil une défectuosité qui a disparu (3). »

---

(1) *Ann. d'ocul.*, t. LXXV, p. 1.
(2) *Ann. d'ocul.*, t. LXXV, p. 102.
(3) *Ann. d'ocul.*, t. LXXXV, p. 1.

Digitized by Google

Nous nous occuperons de l'optomètre, non pas dans le but de la détermination du degré d'amétropie, mais *exclusivement* au point de vue de la mesure de l'acuité. Aussi, une des principales objections que l'on fait à l'emploi de cet appareil, celle de l'influence de l'accommodation donnant des résultats erronés, n'a pas sa raison d'être pour l'acuité visuelle. C'est d'ailleurs pour cela que M. Badal dit : « La mesure de la réfraction peut être erronée sans que celle de l'acuité le soit. »

La mesure de l'acuité par l'optomètre de Badal ne nous paraît pas avoir été aussi bien étudiée que celle de la mesure des amétropies.

Ainsi, dans le cas de l'emmétropie, la position que doit occuper l'œil pour que la mesure de V soit bien faite n'est pas indiquée; d'autre part, on n'a pas, croyons-nous, démontré pourquoi chez les amétropes axiles les images réténiennes sont égales à celles de l'œil emmétrope, lorsque le foyer antérieur coïncide avec celui de la lentille; enfin, la question des amétropies de courbure a été à peu près négligée; il est vrai que M. Mergier en dit quelques mots à propos de son optomètre; nous y reviendrons plus loin.

Pour bien rétablir les choses telles qu'elles doivent être, nous allons insister sur chaque point, en donnant chaque fois des démonstrations à l'appui.

1° *Mesure de V chez les yeux emmétropes par l'optomètre.* — Considérons un œil réduit emmétrope placé de façon que son centre K coïncide avec le foyer F de la lentille : la

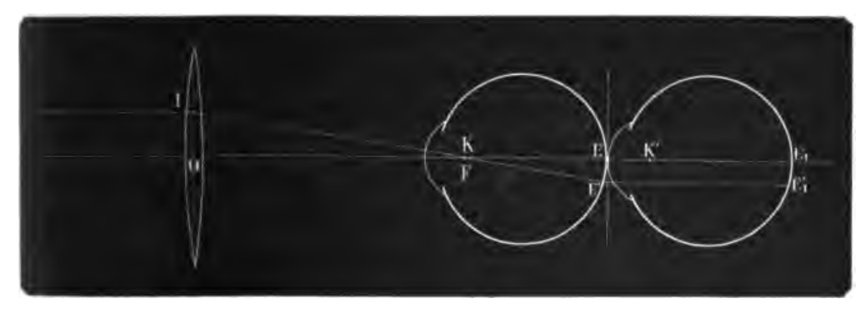


Fig. 15.

Digitized by Google

lettre de l'échelle d'acuité vue sous l'angle IKO forme sur la rétine l'image EE'; dans ces conditions, on trouve pour mesure de l'acuité de cet œil une valeur V. Si l'œil est placé derrière l'œilleton de l'appareil, c'est-à-dire de façon que son foyer antérieur coïncide avec celui de la lentille, le plan principal de l'œil sera tangent à la rétine de la position 1, car la distance KE = 15 millim., et la distance focale antérieure de l'œil réduit égale aussi 15 millim.; par suite, le rayon IKE' aura pour réfracté dans l'œil (position 2) un rayon $E'E'_1$ parallèle à l'axe : en sorte que l'image $E_1E'_1$ = EE'. Le même objet formant dans les deux positions la même image rétinienne, il s'ensuit que la mesure dans les deux positions de l'œil aura la même valeur V. C'est ce que l'expérience vérifie exactement.

Mais il y a une remarque à faire : dans le premier cas, l'accommodation de l'œil ne produit aucune perturbation dans la valeur de l'image EE' et par suite de V, à cause de la coïncidence du centre K avec le foyer $F_1$, tandis que, dans le second, l'accommodation fait varier l'image $E_1E'_1$ car le foyer antérieur de l'œil à l'*état dynamique* ne coïncide plus avec le point F. On devra donc, si l'œil occupe la position 2, avoir bien soin de placer l'échelle mobile *au zéro de la graduation, de façon à empêcher l'œil d'accommoder*. Cette remarque étant faite, nous voyons que l'œil emmétrope peut se placer dans l'une ou dans l'autre position; la valeur de son acuité sera la même dans les deux cas.

Pour mesurer l'amplitude d'accommodation, il faudra avoir soin d'enlever l'œilleton de l'appareil de façon à faire coïncider le point nodal de l'œil avec le foyer de la lentille.

2° *Mesure de l'acuité apparente chez les yeux amétropes.* — Nous rappelons que cette acuité est celle qui est donnée à l'œil par l'interposition du verre correcteur : elle correspond à l'égalité des images rétiniennes dans tous les yeux.

Digitized by Google

1° *Amétropies axiles.*

Nous allons démontrer que les images rétiniennes des yeux amétropes axiles sont égales à celles de l'emmétrope, lorsque le foyer antérieur de l'œil coïncide avec celui de la lentille optométrique.

Soit un œil myope axile dont le foyer antérieur coïncide avec F, l'épreuve optométrique étant au point le plus éloigné qui donne encore la vision nette des caractères; d'après la théorie même de l'optomètre, le point où se forme l'image d'une des lettres AB est le punctum remotum de l'œil : à ce moment, l'optomètre indique le degré N du verre correcteur.

L'image A'B' de AB donne dans cet œil une image rétinienne MM' que nous désignons par $i_m$. Soit $\varphi'$ la distance KF, $\varphi$ la distance KE, $\varepsilon$ la différence EM des yeux myope et emmétrope, et $l'$ la distance de A'B' au foyer F.

On a, dans les triangles semblables KMM' et A'B'K,

$$\frac{i_m}{\varphi + \varepsilon} = \frac{A'B'}{B'K},$$

ou

$$\frac{i_m}{\varphi + \varepsilon} = \frac{o}{\varphi' + l'}; \quad \text{d'où} \quad i_m = o \cdot \frac{\varphi + \varepsilon}{\varphi' + l'}.$$

Nous avons vu que $\varepsilon = N\varphi\varphi'$, et nous savons que $N = \frac{1}{l'}$. Ce qui donne, en substituant,

$$i_m = \frac{o\,(\varphi + N\varphi\varphi')}{(\varphi'N + 1)\,l'} = o \times \varphi \times \frac{1}{l'}.$$

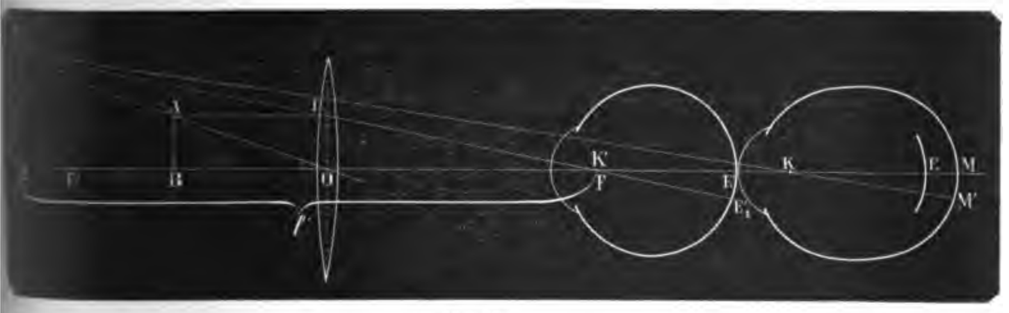



Fig. 16.

Digitized by Google

Supposons maintenant un œil emmétrope placé de telle façon que son centre optique coïncide avec le foyer, et accommodant convenablement pour voir nettement la même lettre AB de la plaque d'épreuve. L'image rétinienne de A'B' est ici $E'E'_1$. Dans les triangles $FE'E'_1$ et A'B'F, on a

$$\frac{E'E'_1}{FE} = \frac{A'B'}{B'K},$$

ou

$$\frac{i_e}{\varphi} = \frac{o}{l'}, \quad \text{d'où} \quad i_e = o \times \varphi \times \frac{1}{l'}.$$

Par conséquent

$$i_m = i_e.$$

On arrive au même résultat en considérant l'hypermétropie.

Il résulte de cette démonstration que pour obtenir, avec l'optomètre, la mesure de l'acuité identique à celle que donne la méthode ordinaire, à distance et avec le verre correcteur, il faut faire coïncider le foyer antérieur de l'œil avec celui de la lentille de l'optomètre, c'est-à-dire placer l'œil derrière l'œilleton de l'appareil tel qu'il est construit.

2° *Amétropies de courbure.*

Nous avons vu que dans ce genre d'amétropies on doit placer le verre correcteur en contact avec la cornée pour que les images rétiniennes soient égales à celles de l'œil emmétrope. — Nous allons démontrer que pour obtenir, avec l'optomètre, une mesure de l'acuité identique à celle que l'on fait à distance avec le verre correcteur, il faut que l'œil amétrope soit placé de telle façon que le pôle de la cornée coïncide avec le foyer de la lentille de l'optomètre.

1° *Myopie de courbure.* — Supposons un œil emmétrope dont le centre optique coïncide avec le foyer F de la lentille de l'optomètre, et un œil myope dont le pôle de la cornée coïncide avec ce même foyer F. Le rayon réfracté IK, carac-

Digitized by Google

téristique de l'image d'un objet de grandeur IO, produit l'image EE' dans l'œil emmétrope. Par rapport à l'œil myope,

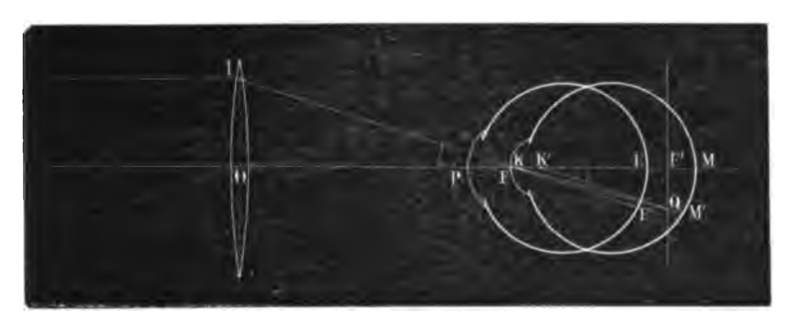


Fig. 17.

ce rayon IK possède un réfracté dont la construction est simple; pour cela, par le centre K' on mène une parallèle à IE'; elle coupe le plan focal postérieur de l'œil myope en Q: la ligne KQ rencontre la rétine en M'. L'image rétinienne MM' est ainsi déterminée.

Pour démontrer son égalité avec EE', considérons les triangles MM'K et F'QK; ils donnent

$$\frac{MM'}{F'Q} = \frac{KM}{KF'},$$

d'où

$$MM' = \frac{F'Q \times KM}{KF'}.$$

Dans le triangle rectangle K'F'Q, on a

$$F'Q = K'F' . \text{tg}\ \alpha.$$

Si on remarque que KM est la longueur de l'axe antéro-postérieur de l'œil, qui, dans les amétropies de courbure, est la même que celle de l'œil emmétrope, on peut écrire

$$MM' = \frac{K'F'}{KF'} \times e \times \text{tg}\ \alpha.$$

Le rapport $\frac{K'F'}{KF'}$ est le rapport de la distance focale antérieure

Digitized by Google

du dioptre, œil réduit, à la distance focale postérieure; il est égal à l'inverse de l'indice de réfaction $\frac{1}{n}$ : on a donc

$$MM' = \frac{1}{n} \cdot e.\text{tg}\,\alpha.$$

L'image rétinienne EE' a pour valeur, dans le triangle KEE',

$$EE' = KE\ \text{tg}\,\alpha.$$

Or, KE et PE sont les distances focales antérieure et postérieure de l'œil emmétrope; on a

$$\frac{KE}{e} = \frac{1}{n}, \quad \text{d'où} \quad KE = \frac{e}{n},$$

et

$$EE' = \frac{e}{n}\ \text{tg}\,\alpha = MM'.$$

2° *Hypermétropie de courbure.* — La même construction et les mêmes calculs amènent au même résultat : HH' = EE'.

Donc, pour que les images rétiniennes des yeux amétropes de courbure soient égales à celles de l'emmétrope, dans l'optomètre, il faut faire coïncider le plan cornéen de l'œil amétrope avec le plan focal de la lentille de l'appareil.

Par conséquent, il est inexact de dire, comme M. Mergier [1], que cette égalité existe quand « le foyer de la lentille coïncide avec le centre optique de l'œil amétrope ».

Nous ferons remarquer qu'il est beaucoup plus commode de déterminer l'acuité apparente des amétropes de courbure de cette façon, car il est assez difficile de placer le verre correcteur en contact avec la cornée : avec l'optomètre, au contraire, il suffit, après avoir mis la plaque d'épreuve au point qui correspond au degré d'amétropie, de faire placer l'œil à 7 millimètres plus loin que dans le cas où c'est le centre qui coïncide avec le foyer de la lentille.

Comme l'œilleton de l'optomètre n'a pas été construit pour ce cas, nous plaçons à l'orifice du tube, après avoir enlevé

---

(1) *Ann. d'ocul.*, t. CVIII, p. 351.

Digitized by Google

l'œilleton, une rondelle de liège ayant 7 millimètres d'épaisseur; de cette façon, l'œil est bien dans les conditions exigées par le calcul.

*Mesure de l'acuité vraie des amétropes.*

Dans la mesure de l'acuité à distance avec l'interposition du verre correcteur, les images rétiniennes sont égales dans tous les cas : nous avons appelé cette acuité *acuité apparente.*

L'*acuité vraie,* au contraire, est définie non plus par la constance des images rétiniennes, mais bien par la constance de l'angle visuel.

Pour faire la mesure de l'acuité vraie d'un amétrope, il faut que, par un moyen quelconque, les caractères de l'échelle d'acuité envoient des rayons tombant sur l'œil comme s'ils émanaient de son remotum.

On pourrait bien concevoir, dans le cas de la myopie, l'échelle placée au remotum de l'œil : alors, en tenant compte de la distance et de la grandeur des lettres lues, on pourrait mesurer ainsi cette acuité. Mais pour l'hypermétropie, ce moyen est impossible, puisque le remotum est virtuel. Il n'y a donc qu'une méthode de faire cette détermination caractérisée par l'angle constant, c'est la méthode de l'optomètre.

Si, en effet, on considère un œil amétrope placé de telle façon que son centre optique ou son point nodal *coïncide avec le foyer de la lentille de l'optomètre,* un objet de grandeur donnée sera toujours vu, quel que soit l'œil, sous le même angle, puisque les rayons réfractés par la lentille se comportent de la même manière que si l'objet était accolé à la lentille.

Nous pouvons d'ailleurs démontrer que l'acuité mesurée dans ces conditions correspond bien à l'acuité vraie que nous avons exprimée plus haut (page 81) en fonction de l'acuité apparente.

Digitized by Google

*Amétropies axiles.*

1° *Myopie.* — Supposons un œil emmétrope dont le centre optique coïncide avec le foyer de la lentille : cet œil accommodant recevra de l'image A'B' d'un caractère de l'échelle optométrique dont la position correspond à un degré N de myopie, une image EE' ayant même grandeur que celle formée par le même objet dans l'œil myope muni de son verre correcteur, ou placé, par rapport à l'optomètre, de façon que son foyer antérieur coïncide avec le foyer de la lentille.

L'acuité apparente de l'œil myope est, dans ces conditions, en désignant par *o* la grandeur des lettres qui seraient lues par l'œil d'acuité 1 et en supposant que A'B' est la grandeur des plus petites lettres lues par l'œil considéré,

$$V_a = \frac{o}{A'B'}.$$

Mais lorsque l'œil myope est placé comme l'indique la figure (centre optique en coïncidence avec le foyer de la lentille), la même portion de sa rétine MM' (= EE') correspond à un objet plus petit; pour obtenir la grandeur de cet objet, il suffit de joindre M'K qui rencontre le plan passant par A'B' en $A'_1$ : $A'_1B'$ est, comme il est facile de le voir, l'image virtuelle de $A_1B$.

L'acuité de l'œil myope, dans ces nouvelles conditions, est

$$V = \frac{o}{A'_1B'}.$$

Il s'agit de démontrer que la valeur de cette acuité correspond bien à celle de l'acuité vraie.

En effet, le rapport de la seconde à la première acuité est

$$\frac{V}{V_a} = \frac{\frac{o}{A'_1B'}}{\frac{o}{A'B'}} = \frac{A'B'}{A'_1B'}.$$

Digitized by Google

Nous avons vu plus haut (page 101) que

$$\frac{i_m}{\varphi + \varepsilon} = \frac{A'B'}{\varphi' + l'}.$$



Fig. 18

Dans les triangles $A'_1B'K$ et $MM'K$, on a

$$\frac{A'_1B'}{B'K} = \frac{MM'}{KM},$$

ou

$$\frac{A'_1B'}{l'} = \frac{i_m}{\varphi + \varepsilon}.$$

En rapprochant cette proportion de la précédente, on a

$$\frac{A'B'}{A'_1B'} = \frac{\varphi' + l'}{l'} = 1 + \frac{1}{l'}\varphi';$$

et puisque $\frac{1}{l'} = N$,

$$\frac{A'B'}{A'_1B'} = 1 + N\varphi'.$$

Or, la distance $\varphi'$ du centre de l'œil réduit à son foyer antérieur vaut 20 millimètres, ce qui donne

$$\frac{V}{V_a} = 1 + 0,02N,$$

d'où

$$V = V_a(1 + 0,02.N).$$

Cette valeur de V est bien celle que nous avions déjà établie en

Digitized by Google

fonction de l'acuité apparente; donc, l'acuité de l'œil myope mesurée avec l'optomètre en faisant coïncider le centre de l'œil avec le foyer de la lentille est bien l'*acuité vraie* de cet œil.

2° *Hypermétropie.* — Dans le cas de l'œil hypermétrope qui a un punctum remotum virtuel, la plaque d'épreuve de l'optomètre doit être placée en avant du plan focal antérieur de la lentille, de façon à envoyer sur l'œil un faisceau convergent.

Si l'œil hypermétrope était muni de son verre correcteur, ou

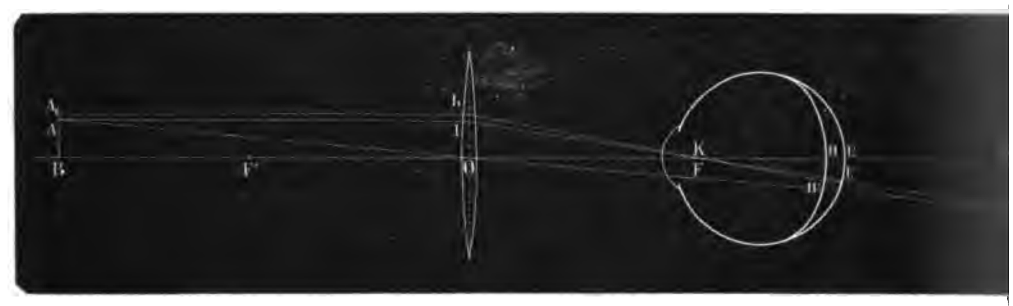


Fig. 19.

s'il était, par rapport à l'optomètre, dans une position telle que son foyer antérieur coïncidât avec le foyer de la lentille, il recevrait sur sa rétine, d'un objet AB de l'échelle optométrique, une image égale à EE' de l'œil emmétrope. Et son acuité apparente est

$$V_a = \frac{o}{A'B'}.$$

Mais dans le cas de la figure, la même portion HH' de sa rétine correspond à un objet $A'_1B'$.

L'acuité de l'œil hypermétrope est alors

$$V = \frac{o}{A'_1B'}.$$

Le rapport de ces deux acuités est

$$\frac{V}{V_a} = \frac{A'B'}{A'_1B'}.$$

Digitized by Google

En faisant un calcul analogue à celui de l'œil myope, on trouve

$$\frac{A'B'}{A'_1B'} = \frac{l' - \varphi'}{l'} = 1 - \frac{1}{l'} \cdot \varphi',$$

d'où

$$\frac{V}{V_a} = 1 - \frac{1}{l'} \cdot \varphi' = 1 - 0{,}02.N,$$

et

$$V = V_a\,(1 - 0{,}02.N).$$

Cette valeur de V est bien celle qui donne l'*acuité vraie* de l'œil hypermétrope en fonction de son acuité apparente.

Donc, dans l'une ou dans l'autre amétropie, *on déterminera l'acuité vraie de l'œil en faisant coïncider son centre optique avec le foyer de la lentille.* L'appareil permet de produire cette coïncidence; il suffit d'enlever l'œilleton du tube et de faire appliquer l'œil à l'orifice de l'optomètre.

Pour les amétropies de courbure, on arriverait au même résultat.

*Modification de la plaque d'épreuve de l'optomètre de M. Badal.*

Nous l'avons dit, et nous avons insisté sur ce fait important, l'acuité visuelle physiologique, sous un bon éclairage, est supérieure à l'unité adoptée (angle de 5′).

Les échelles que nous avons fait construire n'ont pas d'autre but que de pouvoir commodément connaître la valeur exacte limite de l'acuité d'un œil.

Il était indispensable d'apporter la même modification dans la plaque d'épreuve de l'optomètre; telle qu'elle est faite actuellement, cette plaque est une reproduction photographique de l'échelle de Snellen, à laquelle M. Badal a juxtaposé des signes de cartes à jouer; mais, la distance ne pouvant pas, dans l'emploi de l'optomètre, être quelconque et variable, on peut tout au plus mesurer l'acuité 1 : on sait ainsi qu'un œil qui lit la dernière ligne a une acuité 1, mais il est impossible de dire la valeur exacte de son acuité.

Digitized by Google

Aussi avons-nous pensé, dès le commencement de ces recherches, à remplacer, dans la plaque d'épreuve de l'optomètre, la seconde échelle, qui représente des signes de cartes, par une des nôtres, afin d'obtenir dans tous les cas la mesure de toutes les acuités, aussi bonnes qu'elles soient.

Nous avons choisi celle qui est faite d'après le type Snellen, puisqu'elle devait être juxtaposée à l'échelle de Snellen.

La réduction photographique a été faite de la même façon que l'avait fait M. Badal, c'est-à-dire de manière que la grandeur des caractères corresponde à la distance de 0,063.

Nous nous sommes demandé s'il ne serait pas possible d'obtenir une épreuve photographique positive au lieu d'une négative, telle qu'elle est dans l'optomètre de M. Badal et dans les autres, même les plus récents.

L'aspect d'une telle plaque aurait été absolument le même que celui offert par les échelles ordinaires d'acuité. Mais une difficulté matérielle s'est opposée à la réalisation d'un cliché positif. Pour obtenir un positif, il faut, en effet, photographier un négatif obtenu directement; cette seconde opération fait qu'il est impossible d'obtenir la netteté nécessaire. Malgré les plus grands soins apportés par M. Panajou, nous n'avons pu avoir que des lettres diffuses qu'il est impossible de lire au moyen de l'optomètre. L'échelle de Snellen, jusqu'à la dernière ligne, est très bonne; mais notre échelle, formée de caractères très petits, ne peut pas être photographiée en positif. Il nous a donc fallu faire photographier *directement* les échelles d'acuité de façon à empêcher toute perte de netteté. Le cliché négatif ainsi obtenu permet de mesurer les acuités des meilleurs yeux.

*Diagnostic différentiel des amétropies axiles et de courbure.*

Pour différencier une amétropie de courbure d'une amétropie axile, le seul moyen que nous ayons à notre disposition, c'est l'emploi de l'ophtalmomètre de Helmholtz. Cet appareil permet, en effet, de mesurer le rayon de courbure de la cor-

Digitized by Google

née, qui est, en moyenne, de 8 millimètres chez l'emmétrope; il faut, par conséquent, effectuer une mesure extrêmement délicate pour arriver à diagnostiquer tel ou tel genre d'amétropie. Ce procédé n'est pas un procédé clinique; de plus, on n'a pas l'ophtalmomètre de Helmholtz toujours à sa disposition...

L'étude que nous venons de faire de l'acuité vraie et de l'acuité apparente des amétropes va nous conduire à une méthode simple, et par conséquent clinique, permettant de faire le diagnostic différentiel des deux catégories d'amétropies. Si on se reporte aux courbes précédentes qui indiquent, pour une même valeur de l'acuité vraie, les variations de l'acuité apparente avec des degrés de plus en plus élevés d'amétropie, on constate que, dans le cas de la myopie, l'acuité apparente est beaucoup plus faible, toutes choses égales d'ailleurs, pour la myopie de courbure que pour la myopie axile. Dans le cas de l'hypermétropie, au contraire, l'acuité apparente est beaucoup plus élevée pour l'hypermétropie de courbure que pour l'hypermétropie axile. C'est sur cette remarque qu'est basée la méthode dont nous allons exposer la règle pratique :

1° *Myopie.* — Étant donné un œil myope de degré connu, on détermine son acuité vraie à l'aide de l'optomètre (coïncidence du point nodal de l'œil avec le foyer de la lentille); on note cette valeur. Puis on remet l'œilleton à l'optomètre, et on détermine de nouveau l'acuité de l'œil. Si l'*acuité a peu diminué,* l'œil lisant à peu près les mêmes caractères, l'œil est atteint de *myopie axile.* Si, au contraire, l'acuité de l'œil a *diminué d'une manière sensible,* l'œil est atteint de *myopie de courbure.*

2° *Hypermétropie.* — Étant donné le degré d'hypermétropie d'un œil, on place, comme dans le cas précédent, la plaque d'épreuve de l'optomètre au point correspondant à ce degré, et on détermine l'acuité vraie de l'œil (on enlève l'œilleton de l'optomètre). On note cette valeur de V; on replace l'œilleton,

Digitized by Google

et on détermine une seconde fois l'acuité. Si l'œil lit à peu près les mêmes lettres, ***si son acuité a peu varié, l'hypermétropie est axile***. Si, au contraire, l'acuité de l'œil ***a sensiblement augmenté, l'hypermétropie est de courbure.***

Pour que cette méthode soit sensible, il faudrait pouvoir apprécier des différences d'acuité ne dépassant pas $\frac{1}{10}$; et pour cela, il faudrait qu'au lieu d'une échelle Snellen, qui passe trop brusquement d'une ligne à la suivante, la plaque d'épreuve de l'optomètre portât notre échelle décimale.

Nous sommes persuadé que si les ophtalmologistes notaient le nombre des amétropies axiles et des amétropies de courbure, diagnostiquées par la méthode que nous venons d'indiquer, ils trouveraient que les amétropies de courbure sont beaucoup moins rares qu'on ne l'admet actuellement. On sait, en effet, combien l'astigmatisme est fréquent. Or, l'astigmatisme, le plus souvent, est le résultat d'une irrégularité de la courbure cornéenne. Si la perturbation de courbure porte également sur tous les méridiens, on aura un astigmatisme particulier qui ne sera pas autre chose qu'une amétropie ***sphérique de courbure***. Nous pensons donc que les amétropies de courbure, qui ne sont, en somme, qu'un cas particulier de l'astigmatisme, doivent aussi se rencontrer assez fréquemment. C'est la constatation que permettra facilement la méthode que nous avons imaginée.

---

Digitized by Google

# VIII

## Variation de l'acuité visuelle avec l'éclairement (1).

Tout le monde sait que la clarté est indispensable à la vision et que notre œil a beaucoup de peine à reconnaître la forme des objets dont l'éclairement est insuffisant; ainsi, lorsqu'on lit le soir, on est obligé de rapprocher beaucoup le livre des yeux, et à mesure que la nuit approche, il arrive un moment où on ne distingue plus rien.

C'est assurément l'éclairement qui a le plus d'influence sur la variation de l'acuité visuelle, comme nous l'avons indiqué déjà. Aussi cette influence mérite-t-elle d'être étudiée d'une façon particulièrement soigneuse.

En commençant ce chapitre, nous devons donner un aperçu d'une loi relative à la sensibilité de notre œil pour des variations d'éclairement, ou loi psycho-physique de Fechner.

Prenons, comme l'indique Helmholtz (2), un cliché photographique représentant des ombres très délicates et d'autres

---

(1) La plupart des auteurs qui se sont occupés de cette question emploient le mot *éclairage* pour désigner la quantité de lumière reçue par les objets-types servant à mesurer l'acuité. Ce mot est impropre dans ce cas: en effet, l'éclat qu'acquiert une surface plane sous une intensité lumineuse donnée constitue, non pas l'éclairage, mais *l'éclairement* de cette surface. En physique, on appelle éclairement la quantité de lumière reçue par l'unité de surface; si l'intensité lumineuse de la source est I, les rayons tombant sous l'angle $\alpha$, et la distance étant $d$, on a

$$e = \frac{I \cos \alpha}{d^2}.$$

Nous pensons qu'il est utile de réserver le mot éclairage pour désigner le système éclairant. On dira, par exemple, l'éclairage d'une bougie, l'éclairage d'une lampe, l'éclairage du grand jour, etc.

Dans ce chapitre, nous distinguerons toujours ces deux mots, qui ne doivent pas être employés l'un pour l'autre : éclairement et éclairage.

(2) Helmholtz, *Optiq. physiol.*, p. 412.




Digitized by Google

plus foncées ; plaçons ce cliché devant un fond clair dont on augmente peu à peu l'éclairement : pour une faible intensité du fond, on ne remarque pas les ombres les plus délicates ; elles deviennent visibles pour une intensité plus grande, puis, l'intensité augmentant toujours, elles finissent par disparaître de nouveau. Plus l'ombre est prononcée sur le dessin, moins il faut de lumière pour la rendre visible, et plus il en faut pour la faire disparaître. Il doit donc exister certains degrés moyens d'éclairement où l'œil est plus sensible pour reconnaître si l'intensité a varié d'une petite fraction de sa valeur : ce sont les degrés d'intensité que nous employons ordinairement pour lire, écrire, travailler, degrés agréables et commodes pour notre œil et qui s'étendent depuis la clarté à laquelle nous pouvons lire sans difficulté jusqu'à celle d'une surface blanche frappée directement par les rayons solaires. Dans l'intervalle de ces limites, la grandeur de la sensibilité serait, d'après Helmholtz, à peu près constante, de même qu'en général la valeur d'une fonction algébrique variable d'une manière continue varie relativement peu aux environs du maximum.

Les mensurations photométriques donnent le même résultat, avec plus d'exactitude. C'est sur ces mensurations que s'est appuyé Fechner pour énoncer sa *loi psycho-physique,* d'après laquelle, dans des limites très étendues, les plus petites différences perceptibles de la sensation lumineuse sont des fractions constantes de l'intensité. Cette loi serait générale et s'appliquerait aussi à d'autres genres de sensations. Ainsi, des différences dans la hauteur des sons nous paraissent égales lorsque les différences des durées de vibration sont exprimées par une même fraction de la durée de vibration totale. D'après les recherches de Weber, il en est de même de notre faculté de reconnaître des différences de poids et de grandeurs linéaires.

Cependant, la loi de Fechner, relativement à la sensation lumineuse, paraît ne pas s'appliquer avec une grande rigueur. Ainsi, Bouguer a trouvé, pour la valeur la plus petite du rapport perceptible, 1/64 de l'intensité lumineuse totale. Volkmann a

Digitized by Google

fixé ce rapport comme étant égal à 1/100; Arago, à 1/131. Masson, en employant des disques rotatifs blancs avec de petits secteurs noirs, trouva que « des yeux faibles (?) ne pouvaient reconnaître parfois que des différences de 1/50, tandis qu'avec une bonne vue on peut quelquefois reconnaître des différences plus petites que 1/120. »

Aubert (1) a démontré que non seulement le rapport indiqué comme constant par Fechner ne l'est pas, mais encore que, pour une même personne, ce rapport n'a pas toujours la même valeur.

Fechner cherche à expliquer pourquoi cette loi du degré de sensibilité n'est pas exacte pour des intensités très petites ou très grandes, en attribuant cet écart aux perturbations qu'apportent certaines circonstances accessoires. Ainsi, lorsque l'éclairement est très faible, l'influence de la lumière subjective de l'œil doit se faire sentir; à côté de l'excitation produite par la lumière extérieure, il y a toujours une excitation par des causes internes. Quant à l'inexactitude de la loi vers la limite supérieure de l'intensité, Fechner l'attribue à la fatigue de l'organe. Les modifications internes du nerf qui doivent transmettre l'excitation au cerveau ne peuvent pas dépasser une certaine mesure sans modifier cet organe.

Malgré ces circonstances qui altèrent l'exactitude de la loi de Fechner non seulement vers les limites supérieure et inférieure, mais aussi pour les degrés moyens d'intensité, on peut, avec Helmholtz, conserver et admettre cette loi comme donnant une certaine approximation.

La question de l'influence de l'éclairement sur la valeur de l'acuité visuelle a été étudiée par un assez grand nombre d'expérimentateurs qui ont fait d'importants travaux que nous allons essayer de présenter au lecteur sous une forme aussi intéressante que possible.

Tobias Mayer, en 1754 (2), a fait des expériences relatives à l'influence de l'éclairement sur l'acuité visuelle. Il a trouvé qu'on reconnaît le mieux des systèmes de lignes à la clarté d'un

(1) De Wecker et Landolt, *Traité d'ophtalm.*, t. I, p. 523.
(2) Helmholtz, *Opt. physiol.*, p, 294.


Digitized by Google

beau jour, et qu'une augmentation de l'éclairement ne sert à rien. Quant aux éclairements moins intenses, il les obtenait la nuit, en mettant une lumière à différentes distances du papier. Plus la lumière était loin, plus il lui fallait se rapprocher.

En faisant varier l'intensité lumineuse entre 1/16 et 1, il obtint le tableau suivant (1) :

| INTENSITÉ LUMINEUSE. | ACUITÉ VISUELLE. |
|---|---|
| 1 | 1,00 |
| $\frac{1}{4}$ | 0,78 |
| $\frac{1}{8}$ | 0,70 |
| $\frac{1}{16}$ | 0,63 |

En réalité, Mayer mesurait l'angle visuel au moyen de lignes blanches à intervalles égaux, et il trouva que cet angle variait de 138 à 344 secondes, lorsque la distance de la lumière variait entre 1/2 pied et 13 pieds.

Il posa la formule empirique $\alpha = 158' \sqrt[3]{a}$, où $\alpha$ désigne l'angle visuel et $a$ la distance de la lumière. En appelant $i$ l'intensité lumineuse, on en déduit, puisque $i = \frac{1}{a^2}$,

$$\alpha = \frac{158'}{\sqrt[6]{i}}.$$

Posch a établi la loi suivante : l'acuité visuelle croît un peu plus vite que le logarithme de l'intensité lumineuse. Les nombres qu'il trouve, pour les mêmes valeurs de l'intensité lumineuse, sont plus petits que ceux de Mayer.

Klein, en 1872, a publié un travail très intéressant (2) qui mérite d'être cité avec quelques détails.

L'appareil dont Klein s'est servi pour mesurer l'éclairement est un photomètre de Bunsen modifié. C'est une lanterne ordinaire dont toutes les parois sont opaques, excepté une qui est ouverte et présente trois rainures dans lesquelles on peut glisser

(1) *Rev. gén. d'ophtal.*, t. III, p. 201.
(2) Klein (N.-Th.), *De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle*, thèse de Paris, 1872.

Digitized by Google

autant de lames de verre entourées de papier mince. Pour remplacer la tache du photomètre de Bunsen, on a découpé sur une des feuilles de papier recouvrant chaque verre un carré de plus en plus grand, de telle sorte que le carré le plus petit, placé le plus près de la bougie intérieure, pouvait être vu par transparence à travers les deux autres. Si la lumière à mesurer est très faible, on place 2 et même 3 carreaux, de façon à affaiblir la bougie intérieure.

L'unité d'intensité lumineuse adoptée par Klein est celle d'une bougie anglaise placée à un mètre de la surface éclairée. C'est, comme on le verra plus loin, la même unité que celle utilisée par Cohn, de Breslau.

L'éclairage maximum employé par Klein n'a jamais dépassé 10,000 bougies. — L'acuité est sensiblement augmentée, quand on substitue à cet éclairage artificiel celui du soleil de juillet-août et évalué par cet auteur à 200,000 bougies.

Les expériences de Klein ont porté sur des yeux emmétropes, myopes, strabiques et astigmates. Nous ne parlerons que de celles relatives aux deux premières catégories.

Pour représenter la variation de l'acuité avec l'éclairement, l'auteur a construit des courbes dont il s'est efforcé de multiplier les tracés : ce qui ne fait que rendre la lecture de ses recherches plus obscure et plus pénible. Ainsi, il représente sur la ligne des abscisses tantôt les intensités lumineuses en bougies, tantôt en centaines de bougies; dans le 3e graphique, ce sont les racines carrées des intensités; enfin dans le 4e ce sont les racines cubiques de ces intensités. Quoi qu'il en soit, voici quelques résultats :

*Expérience faite sur l'œil emmétrope avec le n° 2 de Snellen (en pieds).*

Dans cette échelle, l'acuité 1 exige une distance de 65 centimètres.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Éclairements.......** | 0,4 | 0,4 | 1 | 5 | 20 | 50 | 100 | 500 | 1.000 | 10.000 |
| **Distances de l'œil à l'échelle.** | 39 | 47 | 57 | 73 | 88 | 93 | 103 | 107 | 113 | 114 |

On voit que l'acuité 1 est obtenue au moyen d'un éclairement

Digitized by Google

compris entre 1 et 5 bougies. L'acuité 2, correspondant à 1$^m$30, est loin d'être obtenue avec l'éclairement de 10,000 bougies.

*N° 3 de Snellen.*

L'acuité 1 exige une distance de l'œil à l'échelle de 97 centimètres.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Éclairements.... | 0,4 | 0,5 | 1 | 5 | 20 | 100 | 500 | 1,000 | 10.000 |
| Distances de l'œil. | 57 | 62 | 81 | 100 | 114 | 138 | 143 | 146 | 148 |

L'acuité 1 correspond à l'éclairement compris entre 1 et 5 bougies : l'éclairement maximum de 10,000 bougies ne donne même pas le double de l'acuité 1.

Nous trouvons que l'auteur aurait bien dû indiquer en face des différentes valeurs de l'éclairement, non pas les distances de l'œil, mais l'acuité correspondante : les résultats auraient été plus faciles à saisir.

Comme ces expériences l'indiquent, l'acuité visuelle croît très vite avec les éclairements faibles ; à partir de 5 bougies, elle augmente très lentement pendant que l'éclairement croît de 5 à 10,000 bougies.

Dans le cas des yeux myopes, cet auteur, avec le n° 1 de Snellen qui donne l'acuité 1 à 30 centimètres, a obtenu pour une myopie de 4 dioptries et à l'œil nu :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Éclairements...... | 0,4 | 0,5 | 1 | 5 | 20 | 100 | 500 | 1650 |
| Distances de l'œil.. | 14 | 15 | 24 | 39 | 47 | 50 | 51 | 51 |

L'œil myope a eu l'acuité 1 pour l'éclairement compris entre 1 et 5 bougies, comme dans le cas de l'emmétropie ; l'augmentation de V pour les forts éclairements est moins marquée, au contraire, qu'avec l'œil emmétrope.

Klein conclut que l'éclairement donnant à un œil normal l'acuité 1 ne doit pas dépasser 5 bougies, mais que cet éclairement est trop faible, dans la plupart des cas, pour mesurer l'acuité. Il conseille de ne pas dépasser l'éclairement 100, et il propose comme éclairement uniforme pour la recherche de V la clarté produite par 20-25 bougies.

Nous devons faire quelques observations relatives aux expé-

Digitized by Google

riences de Klein. Ainsi cet auteur s'est servi d'échelles formées par des morceaux de lecture, et nous savons que les mesures faites de cette façon ne sont pas comparables à celles faites à distance avec des lettres isolées. De plus, il a déterminé l'acuité pour de faibles distances, en sorte que les valeurs indiquées par ses expériences ne peuvent pas se rapporter à la détermination de V, faites à la distance ordinaire 5-6 mètres. Cependant, on doit retenir ce résultat très intéressant, à savoir que l'acuité croît d'abord très rapidement avec des variations faibles de l'éclairement, pour augmenter ensuite très lentement.

Un ophtalmologiste de Bordeaux, M. Sous ([1]), est un de ceux qui se sont occupés, après Klein, de la question que nous traitons. Il s'est servi pour ses recherches de l'optomètre de Badal; il mesurait son acuité visuelle en plaçant une lampe devant cet optomètre et en faisant varier sa distance à l'appareil. Il a ainsi trouvé les chiffres suivants :

| INTENSITÉ LUMINEUSE. | | | | ACUITÉ VISUELLE. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2^6}$ | ou | $\frac{1}{64}$ | .............. | $\frac{1}{6}$ | ou | $\frac{1}{6}$ |
| $\frac{1}{2^5}$ | | $\frac{1}{32}$ | .............. | $\frac{1}{3}$ | | $\frac{2}{6}$ |
| $\frac{1}{2^4}$ | | $\frac{1}{16}$ | .............. | $\frac{1}{2}$ | | $\frac{3}{6}$ |
| $\frac{1}{2^3}$ | | $\frac{1}{8}$ | .............. | $\frac{2}{3}$ | | $\frac{4}{6}$ |
| $\frac{1}{2^2}$ | | $\frac{1}{4}$ | .............. | $\frac{5}{6}$ | | $\frac{5}{6}$ |
| $\frac{1}{2}$ | | $\frac{1}{2}$ | .............. | 1 | | $\frac{6}{6}$ |

Ce tableau montre que l'acuité visuelle diminue avec l'intensité lumineuse, que cette diminution a lieu de la façon suivante : pendant que l'intensité de la lumière suit une progression géométrique dont la raison est $\frac{1}{2}$, l'acuité visuelle varie en progression arithmétique dont la raison est $-\frac{1}{6}$.

Si on trace une courbe avec les nombres trouvés par M. Sous,

---

([1]) G. Sous, *Traité d'optique*, 1879, p. 51.

Digitized by Google

on constate qu'elle présente une allure à peu près semblable à celle construite par Klein; c'est-à-dire que l'acuité va, pour les faibles éclairements, en croissant beaucoup plus vite que l'éclairement. D'après la définition même des logarithmes, chaque valeur de l'acuité visuelle est le logarithme de l'éclairement correspondant. On peut donc dire d'après les résultats de M. Sous que l'acuité visuelle varie proportionnellement au logarithme de l'éclairement. Ce résultat, pris sous cette forme, est très voisin de celui indiqué par Posch.

Macé de Lépinay et W. Nicati (1), en 1882, ont fait des recherches à un point de vue autre que celui où Klein s'était placé. Ces auteurs se sont demandé comment varie, pour chaque radiation simple du spectre, la valeur de l'acuité visuelle avec l'intensité lumineuse objective.

Nous rappelons l'énoncé du phénomène de Purkinje, dont il va être question dans ce qui suit : « L'intensité de la sensation est une fonction de l'intensité lumineuse qui diffère suivant l'espèce de lumière. » — L'intensité de la sensation croît plus lentement et décroît plus lentement pour le bleu que pour le rouge, pour une même variation de l'intensité lumineuse objective.

Macé de Lépinay et Nicati ont mesuré l'acuité visuelle de la façon indiquée page 62. Voici quelques-uns de leurs résultats.

Si on représente par 100 la quantité de lumière jaune nécessaire pour obtenir la valeur $V = 0,33$ de l'acuité visuelle d'un œil, V devient, pour une quantité de lumière égale à 200,

$$V = 0,33 + 0,067 = 0,397.$$

En variant les expériences, ils ont obtenu, pour la lumière jaune, le tableau suivant :

| INTENSITÉ LUMINEUSE. | ACUITÉS VISUELLES. |
|---|---|
| 25 | 0,18 |
| 50 | 0,25 |
| 100 | 0,33 |
| 200 | 0,397 |
| 400 | 0,452 |
| 800 | 0,496 |

(1) *Journ. de phys.*, 1882, p. 33.

Digitized by Google

Ils ont refait les mêmes mesures, avec les radiations suivantes du spectre ayant pour longueurs d'onde

| | |
|---|---|
| rouge, | $0^{\mu}507$ |
| jaune, | 0 497 |
| vert, | 0 458 |
| bleu, | 0 442 |
| violet, | 0 428 |

et ils ont pu établir les lois :

1° La relation qui existe entre l'acuité visuelle et l'intensité lumineuse objective est identique pour toutes les radiations moins réfrangibles que celle de longueur d'onde $0\mu 507$, c'est-à-dire que le phénomène de Purkinje ne se produit pas pour les radiations moins réfrangibles que celle $\lambda = 0^{\mu}507$.

2° L'acuité visuelle croît plus lentement et décroît plus lentement pour le bleu que pour les radiations moins réfrangibles pour une même variation de l'intensité lumineuse objective, et cette différence est d'autant plus accentuée que l'on considère une radiation plus réfrangible à partir du vert.

Cette 2° loi se déduit de l'examen du tableau suivant :

| ACUITÉS VISUELLES. | INTENSITÉS LUMINEUSES OBJECTIVES. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | rouge | jaune | vert | bleu | violet |
| 0,47 | 500 | 818 | » | » | » |
| 0,42 | 267 | 371 | 548 | 651 | » |
| 0,33 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0,26 | 48 | 38 | 22 | 21 | 18 |
| 0,22 | 33 | 23 | 13 | 12 | 10 |

Comme le font remarquer les auteurs eux-mêmes, cette loi est identique, au fond, à l'énoncé du phénomène de Purkinje.

Macé de Lépinay et Nicati ont trouvé que la sensation produite par une source de lumière blanche varie avec son intensité, depuis le blanc jaunâtre (vive lumière solaire) jusqu'au blanc bleuâtre (lumière de la lune). Ces auteurs expriment cette conséquence du phénomène de Purkinje, en altérant un proverbe bien connu : « La nuit, tous les chats sont... bleus. »

Digitized by Google

Dans un autre travail (1), les mêmes expérimentateurs ont étudié la comparaison des différentes parties d'un même spectre en utilisant la variation de l'acuité dans les diverses régions spectrales.

Ils appellent *coefficient d'égale acuité* relatif à une région quelconque du spectre le nombre qui exprime dans quelles proportions il faut faire varier la quantité de lumière blanche pour obtenir en cette région la même acuité que celle obtenue dans la partie la plus intense du spectre.

Les coefficients analogues déduits de l'observation de la clarté des surfaces, ils les appellent *coefficients d'égale clarté.*

Nous avons dit que Posch et Sous avaient constaté que l'acuité visuelle varie comme le logarithme de l'intensité lumineuse objective. Macé de Lépinay et Nicati ont trouvé une confirmation complète de cette loi dans le cas des radiations jaunes, et une confirmation assez approximative pour les radiations bleues. Ils ont établi une relation entre les quantités $q$ de lumière jaune et $q'$ de lumière bleue qui donnent des acuités visuelles égales. On a

$$V - 0,33 = 0,2118 \log. q = 0,2118 B. \log q',$$

d'où

$$\log q = B \log q'.$$

Les valeurs des coefficients d'égale acuité et d'égale clarté obtenues par ces deux habiles expérimentateurs dans les mêmes conditions de clarté du jaune spectral, permettent de partager le spectre en deux régions limitées très sensiblement à la radiation à partir de laquelle le phénomène de Purkinje devient sensible ($\lambda = 0,517$). Dans la partie la moins réfrangible jusqu'en ce point, les coefficients d'égale acuité et d'égale clarté sont très voisins. Enfin, dans la partie la plus réfrangible ($\lambda < 0,517$), le rapport des deux coefficients augmente brusquement et avec une très grande rapidité lorsque la longueur d'onde diminue.

(1) *Journ. de phys.*, 1883, p. 64.

Digitized by Google

En d'autres termes, si l'on éclaire une même page imprimée successivement avec des quantités de lumière jaune et bleue de même clarté, il pourra se faire que l'œil puisse la lire avec facilité dans le premier cas, et qu'elle soit complètement illisible dans le second.

Ces mêmes inégalités entre les deux coefficients dans la moitié la plus réfrangible du spectre deviendraient énormes si l'on considérait ce qui se passe pour les degrés usuels d'éclairage. Les auteurs entendent par là les intensités d'éclairage qui permettent de lire facilement et sans fatigue; celle, par exemple, qui correspond à l'étalon Carcel, placé à 1 mètre de distance.

Ils arrivent finalement à la conclusion suivante : La distinction nette des objets est due presque exclusivement à l'éclairement produit par la moitié la moins réfrangible du spectre normal. Or, c'est pour cette moitié la moins réfrangible que la dispersion par les milieux réfringents est la moins sensible pour une même différence de longueur d'onde.

Des recherches de ce genre ont été faites en 1890 par Uthoff (1); il a étudié l'influence sur l'acuité visuelle de l'éclairement des radiations de différentes longueurs d'onde, et la valeur de l'acuité visuelle dans les différentes parties du spectre pour la même étendue de la fente éclairante.

Il constate, sur les courbes qu'il a construites, que l'acuité augmente, avec un éclairement croissant, d'abord rapidement, puis (une certaine intensité atteinte) les courbes s'inclinent assez brusquement, pour ne plus s'élever que très peu. L'acuité visuelle n'augmente donc que très peu à partir d'un certain degré d'éclairement. C'est une confirmation des résultats de Klein. L'acuité atteint son maximum dans le jaune.

Uthoff a, lui aussi, vérifié le phénomène de Purkinje.

Quant à l'acuité visuelle dans les différentes parties du spectre, il a constaté que le maximum de l'acuité visuelle se

(1) *Rev. gén. d'ophtal.*, 1890, p. 294.

Digitized by Google

trouve dans le jaune : ce résultat pouvait être prévu, car on sait que c'est dans cette région que se trouve le maximum d'intensité lumineuse.

Uthoff a trouvé encore que pour les daltonistes, la courbe est presque conforme à celle des yeux normaux, tandis que pour les anérythropes, le maximum d'acuité visuelle est quelque peu déplacé du côté du vert du spectre.

En 1884, le prof. Charpentier (1) a publié les résultats d'expériences relatives à l'influence de l'éclairement sur l'acuité. Il n'a étudié les variations de V que pour des éclairements faibles, les seuls, d'après Klein, qui influent beaucoup sur l'acuité visuelle.

Il prend pour unité l'acuité visuelle à la clarté d'un jour calme dans une salle suffisamment éclairée.

Dans une première série d'expériences, M. Charpentier diminue l'éclairement en faisant tourner devant l'œil des disques à secteurs alternativement opaques et transparents. L'affaiblissement d'éclairement a été mesuré par la loi de Plateau (rapport entre l'étendue angulaire de la partie opaque à celle de la totalité du disque). M. Charpentier a pu ainsi produire, suivant la vitesse, des variations d'éclairement depuis $\frac{1}{16}$ jusqu'à $\frac{1}{3}$ de l'éclairement ambiant.

Pour évaluer l'acuité, il déterminait la plus grande distance à laquelle l'œil distinguait nettement les uns des autres plusieurs carrés noirs sur fond blanc. Il compare ensuite la distance maxima correspondant à l'éclairage unité ($3^{m}$,30) à celle qui correspond aux éclairages réduits.

M. Charpentier a constaté que l'acuité visuelle diminue de plus en plus vite à mesure que l'éclairement s'affaiblit. La marche des variations présente une courbe à point d'inflexion que l'auteur attribue à un rétrécissement de la pupille pour une certaine distance.

Dans une deuxième série d'expériences, M. Charpentier

(1) *Ann. d'ocul.*, t. XCII, p. 56.

Digitized by Google

diminue méthodiquement l'éclairement en se servant de son photoptomètre différentiel (1) qui permet de graduer l'intensité lumineuse; la partie postérieure était éclairée par une lampe Carcel. Les résultats trouvés par ce moyen sont très analogues aux précédents.

Kolbe (2) s'est occupé de la variation de l'acuité avec la différence de clarté entre les objets et le fond. Il a constaté que l'acuité n'augmente pas proportionnellement, qu'elle augmente d'abord considérablement, puis très peu, et enfin de nouveau considérablement.

Si la différence de clarté entre les lettres et le fond est très grande, les lettres de couleur ne sont pas distinguées à une plus grande distance que les lettres de couleur grise de même intensité. Si la différence de la clarté est petite, la couleur des lettres rend leur distinction plus facile : à un éclairage faible (du jour) les lettres noires sur fond très blanc sont distinguées à une distance beaucoup plus grande que sur un fond un peu moins clair; mais à un fort éclairage de jour, cette différence est moins prononcée.

Un autre résultat intéressant des recherches de Kolbe est relatif à la couleur du fond : si cette couleur n'est pas très intense, elle n'a en apparence aucune influence sensible sur l'acuité visuelle. Le papier de couleur fatigue l'œil d'autant plus que l'action complémentaire que produit cette couleur est plus intense. Ainsi, le fond rouge ou vert fatigue plus l'œil que le fond bleu ou jaune, et ces derniers plus que le fond gris ou blanc de même intensité. Comme conséquence pratique de ces recherches, l'auteur propose le papier blanc pour imprimer les livres.

Uhthoff (3) n'est pas de cet avis : il a constaté, en effet, qu'en augmentant insensiblement l'éclairement, l'acuité visuelle est, avec les objets jaunes, aussi bonne et même meilleure qu'avec

---

(1) *Arch. d'ophtalm.*, 1882, p. 418.
(2) *Rev. gén. d'ophtalm.*, 1885, p. 440.
(3) *Ann. d'ocul.*, t. XCVI, p. 165.

Digitized by Google

des objets blancs. D'après lui, on aurait raison de remplacer le papier blanc par du jaune. Une autre conséquence des expériences d'Uthoff, c'est qu'il n'y aurait pas de grands inconvénients à se servir d'une échelle d'acuité dont le fond aurait été jauni par le temps.

Des expériences sur la variation de l'acuité à la lumière du jour mesurée au photomètre ont été faites par H. Cohn, de Breslau [1].

En mesurant l'acuité sur cinquante yeux d'enfants qui avaient une bonne acuité, et en faisant varier l'éclairement, il a obtenu les résultats suivants :

| INTENSITÉ LUMINEUSE | ACUITÉ VISUELLE |
|---|---|
| 1 | 1,00 |
| $\frac{1}{4}$ | 0,93 |
| $\frac{1}{8}$ | 0,89 |
| $\frac{1}{16}$ | 0,84 |

Ces valeurs de l'acuité sont beaucoup plus grandes que celles trouvées par les autres expérimentateurs, ce qui tient probablement à ce que ceux-ci opéraient avec un éclairage artificiel, tandis que Cohn se servait de la lumière naturelle du jour. Les valeurs des intensités peuvent, dans ces conditions, ne pas se correspondre exactement.

Il a utilisé le photomètre de Weber (*Wiedmann Annalen*, 1883) qui permet de mesurer en quelques secondes le degré de l'éclairement. L'unité d'intensité lumineuse adoptée par Cohn est le mètre-bougie. Il a trouvé que la clarté produite par un ciel bleu est inférieure à celle des nuages gris clair; dans le premier cas, il indique comme clarté moyenne 80 M.B; dans le second, 170 M.B. — D'après lui, la mesure de l'acuité n'aurait de valeur que si on mesurait en même temps l'éclairement. — Nous ferons remarquer que cette mesure simultanée

(1) *Ann. d'ocul.*, t. XCVII, p. 84.

Digitized by Google

de l'éclairement est importante, et même indispensable, quand on détermine l'acuité avec un éclairement faible, semblable à celui d'une salle mal éclairée. Mais lorsqu'on détermine l'acuité à la lumière du grand jour, comme on doit le faire, il s'agit toujours d'un éclairement intense, et nous avons vu que Klein, puis Charpentier ont trouvé que l'acuité variait peu pour les forts éclairements ; la double mesure qu'indique Cohn ne nous paraît donc pas, dans ces conditions, si importante qu'il le dit.

Voici, du reste, une observation intéressante qui vient à l'appui de notre thèse. Talko (1) a étudié l'acuité visuelle pendant une éclipse totale de soleil, et il a constaté que, malgré une diminution apparente de la lumière, V ne s'était pas modifié une demi-heure après l'obscurcissement, qui a duré deux heures. L'acuité n'a baissé qu'au bout de quarante minutes, pour se réduire, au moment de l'éclipse totale du soleil, de 2 fois 1/2 sa valeur, c'est-à-dire de $\frac{5}{4}$ à $\frac{1}{2}$. Au moment de la réapparition des premiers rayons solaires, l'acuité augmenta si rapidement qu'en cinq minutes elle était redevenue normale.

(1) *Ann. d'ocul.*, t. CII, p. 251.

Digitized by Google

# IX

## Variation de l'acuité visuelle avec le diamètre de la pupille.

On sait depuis longtemps que la pupille exerce une influence considérable sur l'acuité visuelle, provenant de ce qu'elle tient sous sa dépendance la grandeur des cercles de diffusion.

Or, ni dans les traités de physique médicale, ni dans ceux d'ophtalmologie, on ne trouve ce sujet traité ; à peine si quelques lignes lui sont consacrées. Nous n'avons pu trouver, dans nos recherches bibliographiques, qu'une étude théorique sur cette question, due à M. Badal (1), et qu'une étude expérimentale, due à Klein (2).

L'influence exercée par le diamètre de la pupille sur la netteté de la vision se conçoit aisément.

En effet, l'œil le plus parfait n'est pas exempt d'aberrations de sphéricité et de réfrangibilité ; il en résulte qu'un point lumineux, malgré une mise au point de l'appareil dioptrique oculaire aussi exacte que possible pour la distance à laquelle se trouve placé ce point, ne se peint jamais sur la rétine par un point mathématique, mais bien par une infinité de petits cercles de diffusion dont le diamètre croît avec la largeur de la pupille.

Chacun sait cependant que, dans les conditions ordinaires de la vision, un œil exactement accommodé n'éprouve aucune gêne de ces sortes d'aberrations ; en d'autres termes, comme le dit très justement M. Badal, nous ne voyons pas les cercles de diffusion par aberration de sphéricité ou de réfrangibilité,

(1) *Mémoires de la Soc. des Sc. phys. et nat. de Bordeaux*, 1882, 2e s., t. IV.
(2) Th. Paris, 1872.

Digitized by Google

tandis que nous voyons parfaitement les cercles de diffusion par défaut de mise au point. Mais il ne faudrait pas en conclure que les premiers n'abaissent pas la valeur de l'acuité visuelle.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, l'acuité visuelle d'un œil est l'inverse de l'angle le plus petit sous lequel cet œil peut encore reconnaître la forme d'objets donnés; et en pratique, on utilise les traits des lettres majuscules constituant les échelles d'acuité.

Si l'œil, que nous supposons emmétrope ou rendu tel par un verre convenable, est exactement accommodé pour la distance à laquelle se trouve l'échelle, chaque trait d'une lettre donnera sur la rétine une image parfaitement nette.

Si, au contraire, l'œil n'est pas exactement accommodé, les images rétiniennes ne seront plus nettes, parce qu'elles s'entourent de cercles de diffusion.

Les plus nuisibles des cercles de diffusion, au point de vue de la faculté de distinguer l'une de l'autre deux images voisines, sont évidemment ceux qui sont à la périphérie des images. Tant que ces cercles resteront plus petits que la largeur des images, l'élément rétinien sensible intermédiaire à ces images sera moins éclairé que les éléments voisins : l'œil aura encore une sensation lumineuse distincte. Mais à partir du moment où les cercles de diffusion se touchent, les impressions se confondent. On peut donc dire avec M. Badal :

« Pour qu'une série d'objets d'épreuve puissent être distingués les uns des autres, il faut que le diamètre des cercles de diffusion soit moindre que la largeur des images rétiniennes. »

Pour pouvoir étudier l'influence du diamètre de la pupille sur la netteté des images, il faut trouver des relations entre la grandeur des cercles de diffusion et celle des images rétiniennes.

Les calculs que nous allons rapporter sont dus à M. Badal, ainsi que, du reste, toute la partie théorique relative à la question que nous étudions en ce moment.



Digitized by Google

*1° Grandeur des cercles de diffusion provenant d'un point lumineux dans un œil emmétrope.*

Appelons $l$ la distance du point lumineux au foyer antérieur F de l'œil;

Appelons $l'$ la distance de l'image du point A au foyer postérieur F'.

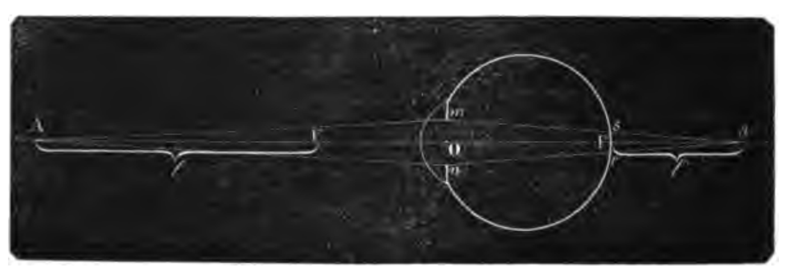


Fig. 20.

D = la distance OF' du centre de la pupille au foyer F';
C = le diamètre *rs* du cercle de diffusion;
P = le diamètre de la pupille *mn*.

Les rayons lumineux qui, après avoir été réfractés par la cornée, se trouvent tangents à la circonférence de la pupille, vont former en *a* l'image du point A; puisque nous raisonnons sur l'œil réduit emmétrope, c'est-à-dire sans faire intervenir l'accommodation, tant que le point A n'est pas à l'infini, son image se fait en arrière de la rétine.

On peut écrire

$$\frac{rs}{mn} = \frac{aF'}{Oa},$$

ou

$$\frac{C}{P} = \frac{l'}{l' + D}.$$

On sait que dans un dioptre analogue à celui formé par l'œil réduit

$$ll' = ff',$$

d'où on tire

$$l' = \frac{ff'}{l},$$

Digitized by Google

ce qui donne

$$\frac{C}{P} = \frac{ff'}{ff' + D.l};$$

par suite,

$$C = \frac{Pff'}{ff' + Dl}.$$

Cette expression montre que, pour une même distance $l$ de l'objet, la grandeur des cercles de diffusion est en raison directe du diamètre de la pupille.

2° *Grandeur des images rétiniennes dans un œil emmétrope.*

Soit un objet A B que nous appelons $\beta$ ; par rapport au dioptre oculaire il fournit une image $A' B' = \beta'$.

L'œil étant emmétrope, l'image de l'objet se fera en arrière de la rétine, puisque l'œil réduit n'accommode pas.

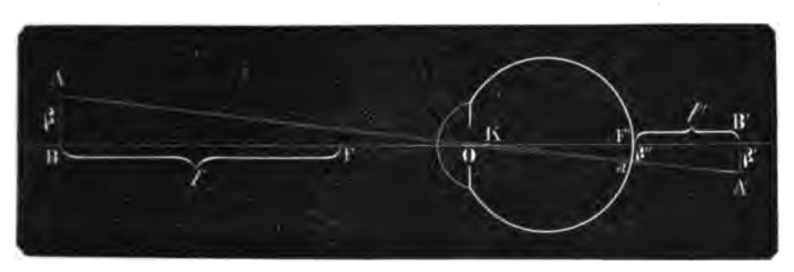


Fig. 21.

La grandeur de l'image diffuse formée par AB est celle qui sépare les centres $a$ et F′ des cercles de diffusion suivant lesquels les deux points extrêmes A et B de l'objet se peignent sur la rétine. On sait que ces centres se trouvent sur les lignes menées du centre O de la pupille (1) aux extrémités A′ et B′. Désignons par $\beta''$ la grandeur de l'image diffuse $a$F′. On a

$$\frac{aF'}{A'B'} = \frac{OF'}{OB'},$$

ou

$$\frac{\beta''}{\beta'} = \frac{D}{D + l'};$$

(1) V. Helmholtz, *Optique physiolog.*, p. 127 et 134.

on a de plus

$$\frac{\beta'}{\beta} = \frac{f}{l},$$

rapport de grandeur de l'image à l'objet dans un dioptre convergent, d'où

$$\beta' = \frac{\beta f}{l}.$$

Si on remplace $\beta'$ par cette valeur, on tire de la première égalité

$$\beta' = \frac{\beta f D}{Dl + ff'}.$$

Cette expression montre que l'image diffuse, au lieu de croître proportionnellement au rapprochement de l'objet, croît un peu moins vite.

Nous avons maintenant toutes les données nécessaires pour établir suivant quelle proportion varient les images rétiniennes et les cercles de diffusion, dans l'œil emmétrope, lorsqu'un même objet se rapproche ou s'éloigne, en supposant toujours l'accommodation inactive.

Le rapport de l'image diffuse $\beta'$ au cercle de diffusion C est le suivant :

$$\frac{\beta'}{C} = \frac{\beta f D}{P f f'} = \frac{\beta D}{P f'}.$$

La distance $l$ n'entrant plus dans la formule, on voit que le rapport entre la grandeur des images rétiniennes et celle des cercles de diffusion est constant (toutes choses égales d'ailleurs) et indépendant de la distance des objets. C'est-à-dire que si, à une certaine distance, la grandeur de l'image est égale à celle des cercles de diffusion, il en sera de même à toute distance.

Nous avons vu que la grandeur $\beta'$ des images rétiniennes pouvant être distinguées les unes des autres doit être supérieure au diamètre C des cercles de diffusion. On devra donc avoir $\beta' > C$, ou, en les remplaçant par leurs valeurs respectives,

$$\beta D > P f',$$

Digitized by Google

ou

$$\beta > \frac{Pf'}{D}.$$

Il en résulte que la grandeur des plus petits objets pouvant être distingués nettement dépend uniquement de la largeur de la pupille.

Si on considère une pupille de 4 millimètres de diamètre, la grandeur de l'objet doit être supérieure ou au moins égale à

$$\frac{4f'}{D} = \frac{4 \times 20}{19} = 4^{mm}21,$$

ce qui est à peu près le diamètre moyen de la pupille.

Lorsqu'il s'agit d'une échelle d'acuité, ce que nous désignons par $\beta$ est, non pas la hauteur des lettres, mais l'épaisseur des traits qui les forment, et qui est le cinquième de la hauteur.

D'après cela, on voit qu'un emmétrope *n'accommodant pas* ne pourrait lire que des lettres ayant au moins cinq fois le diamètre de la pupille. Une conséquence immédiate de ce résultat est la loi suivante, due à M. Badal : « L'acuité visuelle d'un œil emmétrope à l'état statique croît en raison inverse du diamètre de la pupille. » Comme on sait que l'acuité visuelle d'un œil est proportionnelle à la distance à laquelle un même objet est distingué nettement, on peut écrire

$$V = \frac{l}{K.P.}.$$

M. Badal, en poussant plus loin cette étude, a trouvé que la valeur de cette constante K était égale à 4. Par suite,

$$V = \frac{l}{4P}.$$

D'où cette conséquence numérique : l'acuité d'un œil emmétrope *au repos* ayant en réalité, c'est-à-dire pour une distance infinie, une acuité 1, a pour mesure le rapport de la distance en mètres à laquelle se pratique l'examen au quadruple du

Digitized by Google

diamètre de la pupille évalué en millimètres. Ainsi, avec une pupille de 4 millimètres et à 6 mètres, on a

$$V = \frac{6}{4 \times 4} = \frac{3}{8}.$$

Les cercles de diffusion résultant de ce que l'examen s'est pratiqué à 6 mètres au lieu de se pratiquer à l'infini, ont abaissé la valeur de l'acuité de 1 à $\frac{3}{8}$. De là ce résultat assez bizarre que si l'on cherche à mesurer par la méthode ordinaire l'acuité d'un emmétrope absolument privé d'accommodation et placé à 6 mètres de l'échelle d'acuité, on trouvera constamment comme valeur de l'acuité, pour une pupille de 4 millimètres, $V = \frac{3}{8}$.

Comment se fait-il donc qu'à 6 mètres, la plupart des personnes considérées comme emmétropes puissent lire, après paralysie de l'accommodation par l'atropine, la série de l'échelle qui correspond à l'acuité 1 ou supérieure à 1? M. Badal en donne les raisons suivantes : d'abord, quelques-unes de ces personnes peuvent être des myopes dont le punctum remotum est à 6 mètres ou à peu près, chez lesquelles, par conséquent, il ne se forme pas à cette distance de cercles de diffusion; les autres, et c'est le plus grand nombre, ont une myopie inférieure à $\frac{1}{6}$ de dioptrie et sont exactement emmétropes ou bien légèrement hypermétropes. L'absence ou la tolérance des cercles de diffusion tient tout simplement alors à ce que l'accommodation n'est jamais complètement paralysée; le peu qui reste entre en jeu dès que le sujet cherche à lire, et suffit à rendre les images nettes.

Il peut donc, d'après cela, ne pas être indifférent, dans les recherches délicates relatives à l'acuité visuelle, de pratiquer l'examen à 6 mètres ou à une distance plus grande. Pour être assuré de n'avoir aucune erreur avec un œil emmétrope dont la pupille aurait 4 millimètres, il faudrait placer l'échelle à 16 mètres de l'œil. En effet, de l'équation

$$V = \frac{l}{4P},$$

on tire $l = 4 V. P$

Digitized by Google

Si l'œil a une acuité 1 pour l'infini, on voit que, pour que cette acuité ne soit pas diminuée par la présence des cercles de diffusion, il faut que

$$l = 4 \times 4 \times 1 = 16 \text{ mètres.}$$

Mais empressons-nous d'ajouter que lorsqu'on se place, ainsi que nous avons vu la nécessité de le faire, dans de bonnes conditions d'éclairage, le diamètre de la pupille est loin d'avoir 4 millimètres: ce diamètre ne dépasse guère ainsi 1mm5. La distance qui correspond à ce diamètre pupillaire a pour valeur

$$l = 4 \times 1{,}5 = 6 \text{ mètres.}$$

On voit ainsi que lorsqu'on pratique la mesure de l'acuité à un très bon éclairage, la distance habituelle, 5 ou 6 mètres, est telle que les cercles de diffusion produisent sur les images rétiniennes un effet absolument négligeable.

Cependant, il n'en est pas moins certain que « le plus sûr moyen d'être à l'abri de toute erreur est de se servir d'un optomètre permettant d'envoyer à l'œil des rayons exactement parallèles » (Badal).

L'étude expérimentale que nous avons signalée au début de ce chapitre, et due à Klein, est une étude indirecte de l'influence du diamètre de la pupille sur l'acuité visuelle.

Klein, au lieu de produire des variations de dimensions de la pupille elle-même, appliquait sur l'œil des diaphragmes de 1, 2, 3 millimètres; il cherchait ensuite à quelle distance le sujet était obligé de se placer de l'échelle d'acuité pour distinguer nettement les caractères pour une série d'éclairements connus.

De ses expériences sur les yeux myopes, Klein conclut que pour des intensités très faibles (0,4, 0,5 et 1 bougie à 1 mètre) l'acuité de l'œil nu était meilleure que celle de l'œil armé d'un diaphragme; que pour de forts éclairements la vision était


Digitized by Google

meilleure qu'à l'œil nu; que plus l'ouverture du diaphragme était petite, plus l'amélioration était sensible.

Nous ferons remarquer que les expériences de Klein ne répondent pas précisément au but qu'il s'était proposé, à savoir l'influence du diamètre pupillaire sur l'acuité. Il aurait dû laisser l'éclairement de l'échelle constant, et ne faire varier que l'ouverture pupillaire. Dans ses expériences, il avait trois facteurs variables : l'acuité, l'ouverture pupillaire et l'éclairement. De plus, le diaphragme qu'il appliquait devant l'œil ne produisait pas sur la grandeur des cercles de diffusion le même effet que le diaphragme irien qui est placé dans l'intérieur de l'œil, en avant du cristallin.

Les variations de l'acuité visuelle ne sont point, dans les expériences de Klein, comparables à celles qui ont lieu dans l'œil naturel.

Pour compléter cette étude de l'influence du diamètre pupillaire, nous avons cru intéressant de faire des mesures expérimentales du diamètre de la pupille sur l'œil lui-même.

Le problème était facile à poser; il fallait : 1° placer l'échelle d'acuité à un bon éclairage (celui du grand jour); 2° faire varier la quantité de lumière tombant sur l'œil *sans modifier l'éclairement de l'échelle,* de façon à produire une augmentation graduelle du diamètre de la pupille; 3° déterminer l'acuité pour chaque valeur de ce diamètre pupillaire, et 4° enfin mesurer chaque fois ce diamètre.

Toutes ces circonstances auraient été faciles à réaliser si nous avions eu un moyen commode, en même temps que précis, de mesurer le diamètre de la pupille.

La mesure exacte de ce diamètre présente en effet de grandes difficultés.

La mobilité de l'œil étant extrême, la pupille participe naturellement à tous ses mouvements, et ne conserve que par moments l'immobilité nécessaire aux méthodes ordinaires de mensuration.

Aussi, lorsqu'on vise l'extrémité d'un diamètre pupillaire par-dessus une règle graduée, par exemple, on n'est jamais

Digitized by Google

sûr que l'extrémité opposée corresponde encore au zéro de la graduation.

L'iris qui entoure la pupille présente le plus souvent une teinte foncée qui ne tranche pas beaucoup avec celle de la pupille elle-même.

Lorsqu'on cherche à évaluer ce diamètre à l'aide d'une règle, il y a un obstacle qui s'oppose à l'exactitude de la mesure : c'est le déplacement que semblent exécuter l'extrémité du bord pupillaire et la division de la règle qui étaient d'abord vis-à-vis (effet de parallaxe). Ce déplacement est inévitale à cause de la distance, serait-elle réduite à la profondeur de la chambre antérieure de l'œil, qui sépare la pupille de la règle graduée.

Il y a en outre une cause d'erreur importante : le grossissement produit par le dioptre cornéen.

Il faut encore ajouter à toutes ces difficultés de mesure les variations de la grandeur de la pupille produite par la modification de la quantité de lumière qui tombe sur l'œil quand on approche un instrument quelconque, ou quand on dirige sur l'œil des rayons lumineux. L'accommodation modifie également son diamètre. Enfin, on sait que la pupille est un bon réactif des émotions morales : douleur, peur, etc.

On voit combien une bonne mesure du diamètre pupillaire demande de soins et quelles difficultés nombreuses on rencontre dans cette évaluation précise !

Aussi ne devons-nous pas nous étonner du grand nombre de procédés et de la multiplicité des pupillomètres qui ont été décrits et construits dans le but d'effectuer cette mesure.

Leur grand nombre indique, *a priori*, qu'il en existe peu donnant de bons résultats. Sans vouloir passer en revue tous les pupillomètres, dont il existe plus de quinze modèles différents, nous indiquerons l'ophtalmomètre d'Helmholtz comme étant l'appareil qui permet de faire la mesure la plus exacte. Pour cela, on amène, par la rotation des lames, les doubles images de la pupille en contact. De l'angle de rotation des lames, on déduit facilement la valeur linéaire qui correspond au diamètre

Digitized by Google

apparent de la pupille. On obtient le diamètre réel en tenant compte de l'action grossissante du dioptre cornéen. Le pupillomètre de Landolt ([1]) permet aussi de faire une bonne mesure

Un inconvénient inhérent à tous les pupillomètres c'est que, pendant la mesure, qui demande toujours un certain temps, le diamètre de la pupille peut se modifier sous une influence quelconque (accommodation, variation de l'intensité lumineuse, etc.).

Nous avons cherché un moyen plus commode et plus rapide ([2]) pour mesurer exactement le diamètre pupillaire : ce moyen n'est autre que la photographie.

Ce procédé, pour être exempt des inconvénients reprochés aux pupillomètres, avait besoin de demander un temps très court, de façon que la pupille n'ait pas le temps de se modifier.

Pour arriver à ce résultat, nous avons utilisé l'*éclair magnésique;* mais une étude préalable de cet éclair était nécessaire.

Sous l'influence d'une vive lumière, on sait que la pupille se resserre : cette modification du diamètre pupillaire demande un certain temps pour se produire : ce temps est la durée du réflexe pupillaire.

On sait, en effet, que les mouvements de l'iris ne sont pas instantanés : il est même remarquable de voir avec quelle lenteur cette ouverture se dilate ou se rétrécit. Ainsi Œby ([3]) a trouvé que pour accommoder de 43 à 145 centimètres il fallait à la pupille 2 secondes pour changer de diamètre, et que pour accommoder de 145 à 43 centimètres, la durée de la modification pupillaire était de 1 seconde 1/2. La variation du diamètre pupillaire n'est pas achevée que l'effet accommodatif est obtenu.

La durée du réflexe pupillaire n'est pas la même lorsqu'il s'agit de l'excitation produite par la lumière. La contraction de la pupille n'a pas lieu seulement sur l'œil excité, elle se produit aussi sur l'œil du côté opposé, mais en étant un peu

---

(1) *Traité d'ophtalm.*, de Wecker et Landolt, t. I, p. 950.

(2) Communication faite à la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, séance du 15 juin 1893.

(3) Drouin, thèse de Paris, 1876, p. 107.

Digitized by Google

moins marquée (chez le lapin, au contraire, le rétrécissement pupillaire ne porte que sur l'œil excité). Listing[1] a constaté que la modification pupillaire *de l'œil opposé* ne commençait que $\frac{2}{5}$ de seconde après l'excitation lumineuse, et qu'elle durait $\frac{1}{5}$ de seconde.

D'après Beaunis[2], le rétrécissement du diamètre pupillaire de l'œil excité commence 0,49 de seconde après l'excitation lumineuse; la pupille n'atteint son diamètre constant qu'au bout de 0,85 de seconde.

La dilatation est toujours plus lente à se produire que le rétrécissement. Ainsi donc, le chiffre que nous devons retenir pour la durée du réflexe pupillaire, dans le cas qui nous occupe, est 0,49 de seconde.

Pour savoir si l'éclair magnésique pouvait modifier le diamètre de la pupille, il était indispensable de mesurer la durée de cet éclair.

Il existe plusieurs manières de le produire. Nous avons utilisé pour nos expériences l'éclair résultant de la combustion d'une quantité de poudre de magnésium égale à 1 gramme, contenue dans une petite boîte en carton de 20 millimètres de diamètre et de 7 millimètres de hauteur; la base supérieure est constituée par une mince feuille de papier dans laquelle on enfonce une petite mèche destinée à enflammer la poudre.

Pour faire la mesure de la durée de l'éclair, nous avons utilisé une méthode bien connue, celle du diapason à miroir (*fig.* 22).

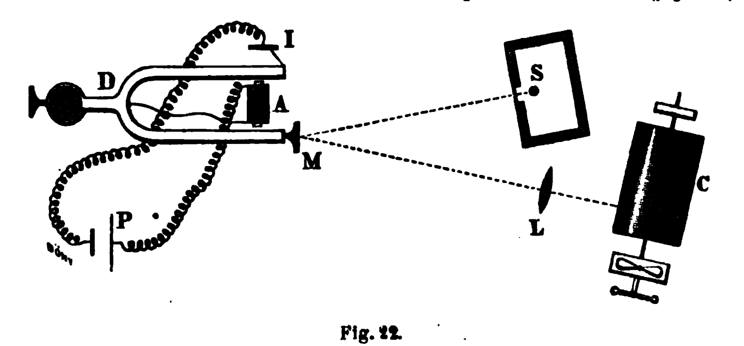



Fig. 22.

[1] Drouin, *loc. cit.*, p. 107.
[2] Beaunis, *Physiol. hum.*, t. II, p. 514.

Digitized by Google

Le diapason dont nous nous sommes servi effectuait 154 V. D. mesurées avec le cylindre enregistreur de Marey, au moment même de l'expérience : une de ses branches était munie d'un miroir plan M, comme dans les expériences de Lissajous. En plaçant une source lumineuse S dans une caisse percée d'une petite ouverture, les rayons émanés de cette source étaient réfléchis par ce miroir ; à l'aide d'une lentille convergente L, il était facile d'obtenir sur un écran l'image nette, réduite à un point, de l'ouverture rendue lumineuse par la source. Dans ces conditions, si on se sert comme écran d'une feuille de papier photographique au gélatino-bromure d'argent placée sur un cylindre C animé d'une grande vitesse, et si on remplace la source lumineuse contenue dans la caisse par un éclair magnésique, il est évident qu'en faisant entrer le diapason en vibration, on pourra obtenir sur le cylindre la trace du mouvement vibratoire correspondant au temps mis par la poudre de magnésium à opérer sa combustion. Ce dispositif, que nous avons utilisé, a une grande sensibilité. La durée de l'éclair s'obtient ainsi en comptant le nombre de dents photographiées sur le gélatino-bromure.

En répétant plusieurs fois l'expérience, nous avons trouvé que la durée de l'éclair était comprise entre

$$\frac{6}{154} \text{ et } \frac{8}{154}$$

de seconde, c'est-à-dire entre $\frac{4}{100}$ et $\frac{5}{100}$ de seconde.

Il est donc évident que la lueur produite par cet éclair n'a pas le temps de modifier l'ouverture pupillaire, puisqu'elle dure 10 ou 12 fois moins de temps que le réflexe physiologique.

La lumière produite par la poudre de magnésium, étant très riche en radiations actiniques, permet de photographier la pupille, même dans l'obscurité.

Pour nos expériences, nous avons utilisé une chambre photographique et un objectif nous permettant d'obtenir une image agrandie de la face antérieure de l'œil. Nous devons à l'obligeance d'un maître bien connu à Bordeaux dans l'art

Digitized by Google

photographique, M. Panajou, d'avoir pu mener à bonne fin ces mesures délicates. Pour avoir la valeur du diamètre pupillaire, il suffit de le mesurer sur le cliché et de diviser cette valeur par : 1° le grossissement de l'objectif photographique déterminé une fois pour toutes, et 2° par le grossissement dû au dioptre cornéen.

Ce dernier grossissement est facile à calculer : dans l'œil humain le plan pupillaire, quand l'œil est au repos, est situé à 4 millimètres en arrière du pôle de la cornée (1); le rayon de courbure de la cornée est, d'autre part, égal en moyenne à 8 millimètres d'après les mensurations d'Helmholtz et de Donders; l'indice de réfraction de l'humeur aqueuse est 1,336; par conséquent, la distance focale du dioptre cornéen est

$$f = \frac{r.n}{n-1} = \frac{8 \times 1,336}{1,336 - 1} = 31^{mm}78.$$

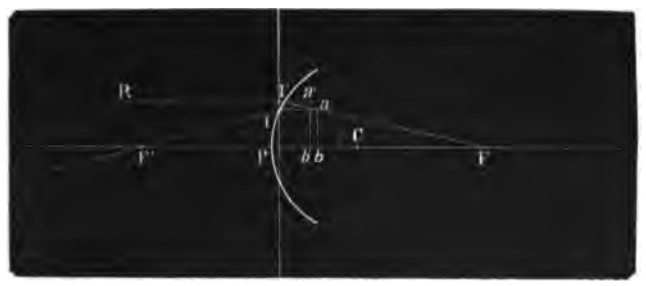


Fig. 23.

Considérons le demi-diamètre de la pupille. Ce demi-diamètre *ab* se comporte comme un objet lumineux : il apparaît comme s'il était vu à la loupe. La construction de son image s'obtient en menant les deux rayons classiques, l'un *a*I parallèle à l'axe, l'autre *a*I' dont la direction passe au foyer postérieur F.

Les prolongements des deux réfractés se coupent en *a'*, et *a' b'* est l'image virtuelle de *ab*.

Le grossissement, ou plutôt le grandissement de ce dioptre cornéen est, comme dans tout appareil d'optique, le rapport de l'image à l'objet.

(1) Helmholtz, *Opt. phys.*, p. 110.

Digitized by Google

Dans les triangles semblables I'PF et $ab$F, on a

$$\frac{\text{I'P ou } a'b'}{ab} = \frac{\text{PF}}{b\text{F}} = \frac{31,78}{31,78 - 4},$$

ou

$$C = \frac{31,78}{27,78}.$$

Pour étudier expérimentalement la variation de l'acuité pour différentes valeurs du diamètre de la pupille, il fallait empêcher l'œil de corriger le manque de netteté des images provenant des aberrations de sphéricité; il fallait donc l'empêcher d'accommoder: nous sommes arrivé à ce but en plaçant devant l'œil, choisi emmétrope, un verre positif de $0^d2$; dans ces conditions, la grandeur des cercles de diffusion ne peut pas être modifiée par l'accommodation.

Le sujet en expérience, placé devant l'objectif de la chambre photographique dont la plaque était mise au point une fois pour toutes, avait la tête fixée en arrière et en bas; l'œil avait donc une position immobile. On commençait par déterminer, pour une valeur donnée du diamètre de la pupille, son acuité visuelle monoculaire, et aussitôt cet œil était photographié.

Pour augmenter la grandeur de la pupille, on fermait plus ou moins les ouvertures de la salle; enfin, pour que l'œil reçût très peu de lumière, on disposait un grand vélum noir qui plaçait le sujet comme dans une chambre obscure à laquelle était ménagée une petite ouverture permettant à l'œil d'apercevoir l'échelle d'acuité. Cette échelle était, elle, en dehors de la salle, et toujours éclairée de la même façon : par la lumière du grand jour.

Il était indispensable d'avoir à sa disposition une échelle régulièrement progressive et donnant la mesure de l'acuité en dixièmes. Notre échelle décimale, décrite plus haut, était donc tout indiquée pour cet usage; nous saisissons cette occasion pour faire remarquer encore son utilité.

Cette échelle ne permet pas seulement d'exprimer la valeur de l'acuité en dixièmes; elle permet d'avoir une approximation

Digitized by Google

plus grande encore. Ainsi, lorsqu'un sujet lit toutes les lettres de la ligne qui correspond, par exemple, à $V = 1,5$, et qu'il en lit quelques-unes de la ligne suivante qui donne $V = 1,6$, on peut écrire pour l'acuité cherchée 1,55. On a donc ainsi une mesure aussi exacte que possible.

Les yeux sur lesquels nous avons fait ces mesures étaient des yeux bleus, choisis tels à dessein: la coloration bleuâtre de l'iris est, on le comprend, une condition qui permet à la pupille noire de se détacher plus nettement sur l'épreuve, et par suite d'obtenir une image meilleure.

Le grossissement de l'appareil photographique était mesuré en plaçant sur le même plan que l'œil un double décimètre en ivoire blanc gradué en demi-millimètres.

Ce grossissement, dans nos expériences, était égal à

$$\frac{87}{30} = 2,9.$$

La pupille a été photographiée dans cinq grandeurs différentes, pour lesquelles l'acuité de l'œil était respectivement

1° $V = 2$
2° $V = 1,85$
3° $V = 1,8$
4° $V = 1,75$
5° $V = 1,7$

Le diamètre de la pupille mesuré sur chaque cliché a été trouvé égal à

1° — 6,$^{mm}$ clarté du jour.
2° — 13 clarté moyenne.
3° — 13,5 id.
4° — 20 demi-obscurité.
5° — 22 obscurité presque complète.

Grâce au grossissement produit par l'appareil photographique (2,9), on voit que les mesures peuvent être faites avec une grande approximation.

Digitized by Google

En divisant chaque valeur du diamètre pupillaire par 2,9 on obtient les différentes valeurs :

| | |
|---|---|
| | mm |
| 1° — | 2,06 |
| 2° — | 4,48 |
| 3° — | 4,65 |
| 4° — | 6,9 |
| 5° — | 7,58 |

qui sont les diamètres que paraît avoir la pupille à travers le dioptre cornéen. Pour connaître le diamètre réel de la pupille dans chaque expérience, il suffit de diviser tous ces nombres par le grossissement relatif à la cornée, et que nous avons trouvé égal à

$$\frac{31,78}{27,78},$$

ce qui donne les nombres suivants :

| | |
|---|---|
| | mm |
| 1° | 1,8 |
| 2° | 3,9 |
| 3° | 4,04 |
| 4° | 6 |
| 5° | 6,6 |

Si on rapproche les valeurs correspondantes de l'acuité, on obtient le tableau suivant, qui montre la façon dont varie l'acuité avec le diamètre de la pupille :

| ACUITÉ. | DIAMÈTRE PUPILLAIRE. |
|---|---|
| | mm |
| 2 | 1,8 |
| 1,85 | 3,9 |
| 1,8 | 4,04 |
| 1,75 | 6 |
| 1,7 | 6,6 |

On voit par là qu'à mesure que les nombres représentant les différentes valeurs de l'acuité vont en diminuant, ceux qui expriment la grandeur du diamètre pupillaire vont au contraire en croissant. D'où cette loi expérimentale prévue déjà par le

Digitized by Google

calcul : L'acuité visuelle d'un œil emmétrope *à l'état statique* varie en raison inverse du diamètre de la pupille.

On peut aller plus loin et représenter cette variation par une courbe. Il suffit de porter en ordonnées les différentes valeurs de l'acuité, et en abscisses celles du diamètre de la pupille. On obtient ainsi des points qui permettent de construire la courbe ci-dessous :

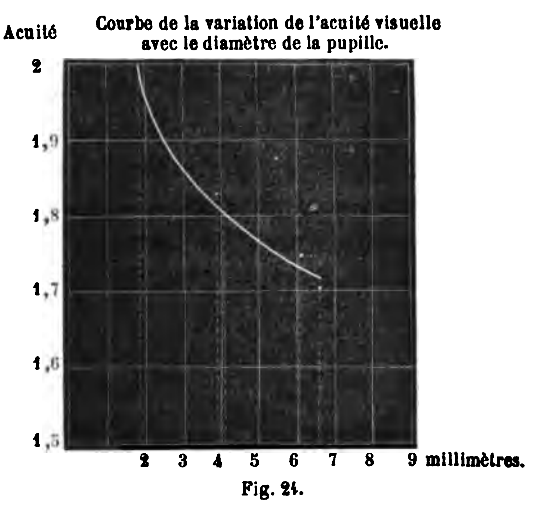



Fig. 24.

La question de la détermination de l'acuité visuelle par la méthode dite *du trou d'épingle* trouve naturellement sa place dans ce chapitre.

Lorsqu'on place, en effet, une ouverture sténopéique devant l'œil, on produit un rétrécissement artificiel de la pupille, rétrécissement beaucoup plus grand que celui qui correspond au diamètre minimum de la pupille. Cette méthode a été proposée par Giraud-Teulon (1) dans le cas des anomalies de la réfraction. Le faisceau lumineux émanant des objets-types est alors très mince ; il rencontre les différents dioptres oculaires en des portions si petites, que la forme des surfaces réfringentes a une influence presque nulle sur la marche des rayons. Les images rétiniennes ainsi obtenues ont une netteté à peu

(1) *Instruction pour l'emploi d'une échelle régulièrement progressive*, Paris, 1863.



Digitized by Google

près égale pour tous les yeux, emmétropes ou amétropes; cette netteté est due à ce que les cercles de diffusion sont très diminués par l'interposition de l'ouverture sténopéique.

On peut constater facilement l'efficacité de ce procédé : si on regarde au trou d'épingle des caractères d'imprimerie placés entre le punctum proximum et l'œil, on peut très bien les distinguer; dans ces conditions, il y a un rapprochement apparent du punctum proximum. Nous croyons utile de faire remarquer que cette expérience permet d'expliquer pourquoi certains vieillards (qui ne pouvaient se passer de lunettes au commencement de leur presbytie) y voient à l'œil nu, aussi bien et même mieux qu'avec l'aide de leurs verres positifs. Chez ceux-là, on constate un myosis considérable qui transforme leur pupille en un véritable trou d'épingle; leur vision de près est ainsi améliorée : tout se passe comme si leur proximum était rapproché de l'œil.

Quoi qu'il en soit, la mesure de l'acuité visuelle au trou d'épingle donne des résultats erronés, car la petitesse de l'ouverture diminue l'intensité lumineuse de l'image rétinienne, et l'influence des troubles produits sur la vision par les milieux réfringents de l'œil est supprimée en partie.

Cette détermination de l'acuité au trou d'épingle donne cependant d'utiles renseignements sur l'état de l'appareil nerveux de réception et de transmission au cerveau des impressions lumineuses. On doit ensuite compléter ce renseignement par une exploration objective du fond de l'œil à l'ophtalmoscope.

La mesure de l'acuité est influencée par l'éclairement de l'échelle d'acuité, c'est-à-dire par la quantité de lumière qui tombe sur cette échelle; et aussi, comme nous venons de le voir, par la grandeur du diamètre de la pupille.

A notre avis, il ne faut pas considérer ces deux facteurs séparément lorsqu'on cherche à faire une bonne mesure d'acuité, mais, au contraire, faire marcher ces deux causes de front.

Digitized by Google

Ainsi, il ne suffit pas d'éclairer fortement l'échelle; il importe en même temps de régler la quantité de lumière qui tombe sur l'œil, de façon que la pupille ait un faible diamètre destiné à diminuer l'étendue des cercles de diffusion.

On devra donc, pour déterminer exactement l'acuité visuelle, donner à l'échelle optométrique et à l'œil le même éclairage; on devra chercher l'adaptation de l'œil pour l'éclairement de l'échelle.

Le meilleur moyen d'arriver à cette adaptation est de faire les déterminations d'acuité en plein air, dehors, ou en se plaçant dans une salle ou dans un couloir dont une des faces est entièrement vitrée; de cette façon, l'échelle et l'œil, placés sous la même clarté, seraient dans les conditions requises d'une bonne mesure d'acuité.

Si l'unité d'acuité a été prise si faible par Snellen et Giraud-Teulon, nous croyons qu'il faut l'attribuer non seulement à un éclairage insuffisant, mais aussi à un trop grand diamètre de la pupille des yeux placés à cet éclairage.

---

Digitized by Google

## X

### Variation de l'acuité visuelle avec l'âge.

Comme nous l'avons dit au début de ce travail, l'acuité visuelle varie avec l'état de l'organe. En dehors de toute maladie de l'œil, l'acuité ne conserve pas la même valeur, pour un même individu, pendant toute la vie. Ainsi, dans la vieillesse, les milieux de l'œil, principalement le cristallin, perdent de leur transparence; en outre, les éléments sensibles de la rétine possèdent un degré d'activité moindre; en un mot, l'état de l'organe est moins parfait que pendant les années précédentes, et l'acuité visuelle décroît.

Comme toute variation d'ordre biologique, la variation de l'acuité pendant les diverses phases de la vie doit correspondre à une loi immuable. Cette loi est signalée dans tous les traités écrits sur la question; mais une importante modification doit être apportée dans la courbe représentant cette loi.

La courbe de la variation de l'acuité visuelle avec l'âge a été construite d'après le tableau dressé par Vroesom de Haan [1]. Cette courbe part de l'ordonnée 1,19 et décroît jusqu'à la valeur 0,55 qui correspond à l'âge de 80 ans. D'après cet auteur, l'acuité aurait les valeurs suivantes :

| | |
|---|---|
| à 10 ans..... | 1,18 |
| à 20 ans..... | 1,15 |
| à 30 ans..... | 1,1 |
| à 40 ans..... | 1,03 |
| à 50 ans..... | 0,94 |
| .............. | .... |
| à 80 ans..... | 0,55 |

Ainsi, l'opinion adoptée par tout le monde est que l'acuité

[1] Helmholtz, *Opt. physiol.*, p. 297.

Digitized by Google

visuelle est maxima dans les premiers moments de la vie, et qu'elle va en décroissant assez régulièrement.

C'est pour traduire algébriquement ces résultats que le professeur Monoyer a donné l'équation suivante :

$$V = 1,19 - 0,001\, x^2,$$

dans laquelle V est la valeur de l'acuité et $x$ l'âge du sujet. Nous allons montrer en quoi la courbe de de Haan diffère de celle qui correspond à nos déterminations.

Lorsque nous faisions, au début de ces recherches, des mesures d'acuité, non pas avec nos échelles, mais avec celle de Snellen, nous nous sommes aperçu du fait suivant : tandis qu'un adulte de 18 à 20 ans lisait la dernière ligne à 8 ou 10 mètres, les enfants de 6 à 8 ans étaient obligés de se rapprocher à 5 ou 6 mètres pour voir cette même série de caractères.

Les quelques observations faites de cette façon nous avaient étonné, sachant que les enfants étaient réputés avoir une acuité supérieure à celle des adolescents et des adultes.

Pour bien connaître la vérité sur la valeur de l'acuité dans les vingt premières années de la vie, nous avons entrepris de faire des déterminations d'acuité dans les écoles.

Nos premières mesures ont été faites en octobre 1892, dans une école primaire du département de la Charente. Nous nous sommes servi simultanément de notre échelle décimale et de celle de Snellen, placées toutes deux au grand jour, par conséquent à un très bon éclairement.

Nous avons ainsi examiné l'acuité de plus de cent cinquante élèves de 6 à 16 ans. Nos résultats ont été exactement semblables à ceux que nous allons indiquer plus loin ; mais comme l'état de réfraction des yeux était déterminé [1] seulement par

[1] Voici, d'après Sismann (*Rev. gén. d'ophtalm.*, 1887, p. 39), les résultats obtenus sur les élèves d'une école d'Irkoutsk, par la méthode de Donders et par la méthode de l'ophtalmoscope à réfraction :

| | Hypermétropes. | Emmétropes. | Myopes. | Total. |
|---|---|---|---|---|
| Méthode de Donders....... | 7 | 13 | 38 | 58 |
| Méthode de l'ophtalmoscope. | 55 | 2 | 1 | 58 |

Nous reviendrons plus loin sur le chiffre élevé (38) de myopes trouvés par la méthode de Donders.

Digitized by Google

la méthode de Donders, qui ne peut pas donner de mesures exactes, surtout pour l'hypermétropie, nous avons cherché à reprendre ces déterminations en employant une méthode objective pour la mesure des degrés d'amétropie, de façon à pouvoir faire la correction par un verre approprié.

Ces déterminations ont été faites sur les élèves de plusieurs écoles de Bordeaux. C'est grâce à la bienveillance de M. le professeur Layet que nous devons d'avoir pu obtenir l'autorisation nécessaire pour effectuer ces recherches. Je prie M. Layet de recevoir ici mes remerciements les plus sincères.

Le degré des différentes amétropies a été mesuré, à l'aide de l'ophtalmoscope à réfraction du prof. Badal, par notre ami C. Fromaget, chef de clinique ophtalmologique de la Faculté. Nous ne saurions trop le remercier du soin qu'il a mis à faire ces mesures et de la collaboration précieuse qu'il nous a fournie à cette occasion.

L'acuité a été prise pour un œil seulement, l'autre étant masqué par un écran opaque. L'échelle optométrique employée était notre échelle décimale.

Nos recherches ont porté sur des sujets de 6 ans à 17 ans fréquentant les écoles de la rue Paul-Bert et de la rue Pèlegrin (1). Les acuités relatives aux sujets compris entre 17 et 20 ans ont été déterminées au laboratoire de physique médicale de la Faculté sur des étudiants en médecine de première année.

Le nombre des sujets examinés pour chaque période d'une année a varié entre 15 et 20, ce qui représente un total d'environ 300 déterminations faites entre 6 et 20 ans.

Voici le résumé des chiffres trouvés, tant au point de vue de l'état de la réfraction statique qu'à celui de l'acuité visuelle moyenne :

(1) Nous devons remercier vivement de leur accueil sympathique les directeurs des différentes écoles dans lesquelles nous avons opéré nos mesures, à savoir M. Tilhard, de Blanzac (Charente), et MM. Deschamps et Cornut, de Bordeaux.

Digitized by Google

| AGES DES SUJETS | Emmétropes °/° | Hypermétropes °/° | Myopes °/° | Acuité visuelle monoculaire moyenne |
|---|---|---|---|---|
| De 6 à 7 ans.... | 0 | 100 | 0 | 1,14 |
| De 7 à 8 ans.... | 11,7 | 88,2 | 0 | 1,18 |
| De 8 à 9 ans.... | 33,3 | 66,6 | 0 | 1,28 |
| De 9 à 10 ans.... | 14,6 | 83,3 | 0 | 1,3 |
| De 10 à 11 ans.... | 38,4 | 61,5 | 0 | 1,32 |
| De 11 à 12 ans.... | 28,5 | 71,4 | 0 | 1,4 |
| De 12 à 13 ans.... | 57,1 | 42,8 | 0 | 1,52 |
| De 13 à 14 ans.... | 42,8 | 57,1 | 0 | 1,62 |
| De 14 à 15 ans.... | 35,2 | 64,7 | 0 | 1,7 |
| De 15 à 16 ans.... | 63,6 | 27,2 | 9 | 1,67 |
| De 16 à 17 ans.... | 64,2 | 28,5 | 7,1 | 1,665 |
| De 17 à 20 ans.... | 68,9 | 13,7 | 17,3 | 1,68 |

A l'aide des nombres que nous ont fournis nos déterminations d'acuité, il est facile de construire la courbe de la variation avec l'âge, en prenant pour ordonnées les valeurs de l'acuité, et pour abscisses les âges. En se reportant à cette courbe, on voit que l'acuité visuelle ne va pas en décroissant régulièrement depuis le moment de la naissance jusqu'à la vieillesse, comme l'indique la courbe classique dessinée en trait ponctué sur le graphique ci-joint, mais qu'elle augmente au contraire peu à peu jusqu'au moment où l'homme passe de la deuxième enfance à la puberté [1]. Depuis ce moment jusqu'à la vieillesse, l'acuité suit une marche parallèle à celle indiquée par de Haan.

Comme nous l'avons déjà dit, l'acuité d'un œil physiologique, quel que soit son âge, est toujours plus grande que l'unité adoptée, avec un bon éclairement. La dernière partie de la courbe obtenue en menant une parallèle à la ligne placée au-dessous répond assez bien aux valeurs de l'acuité que nous avons trouvées entre 20 et 80 ans.

(1) La première enfance s'étend de la naissance à 7 ans ; la deuxième enfance, de 7 ans à la puberté (11-13 ans chez les filles, 14-15 chez les garçons).

Digitized by Google

Courbes de la variation de l'acuité visuelle avec l'âge.

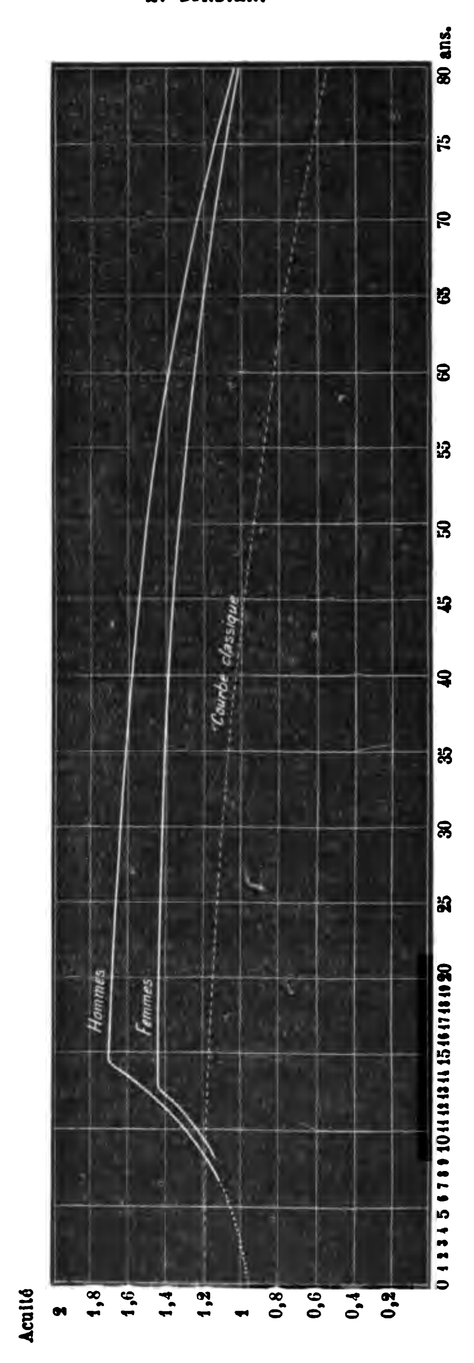



Fig. 25.

Le point important et inattendu de nos résultats est la forme de la courbe dans les premières années de la vie. Nous venons de dire que l'acuité allait en croissant jusqu'à un âge qui semblait être celui de la puberté.

Pour vérifier cette loi, un moyen simple s'offrait à nous : celui de faire chez les filles les mêmes déterminations que nous avions faites chez les garçons. On sait, en effet, que la puberté apparaît chez les filles vers 11-13 ans, tandis que chez les garçons elle a lieu vers 14-15 ans. C'est ce que nous n'avons pas manqué de faire.

C'est encore grâce à l'appui que nous a prêté M. le professeur Layet que nous avons pu effectuer ces mensurations. Nous lui adressons encore une fois nos plus vifs remerciments.

Le tableau suivant résume nos déterminations faites à l'école des filles de la rue des Ayres ([1]), sur 110 jeunes filles.

| AGES | Emmétropes % | Hypermétropes % | Myopes % | Acuité moyenne |
|---|---|---|---|---|
| De 8 à 9 ans.... | 21,5 | 78,5 | 0 | 1,15 |
| De 9 à 10 ans.... | 20 | 73,3 | 6,6 | 1,2 |
| De 10 à 11 ans.... | 25 | 75 | 0 | 1,25 |
| De 11 à 12 ans.... | 20 | 80 | 0 | 1,34 |
| De 12 à 13 ans.... | 41,6 | 50 | 8,3 | 1,44 |
| De 13 à 14 ans.... | 20 | 80 | 0 | 1,4 |
| De 14 à 15 ans.... | 57,8 | 42,1 | 0 | 1,36 |

En prenant pour ordonnées les valeurs de l'acuité moyenne correspondant à chaque année, on détermine une série de points qui permettent de construire la courbe représentant la variation de l'acuité avec l'âge chez les jeunes filles. On constate ainsi que la courbe s'élève parallèlement à celle des garçons

([1]) Nous prions la Directrice de cette école, Mlle Trichard, de recevoir nos remerciments sincères pour la complaisance avec laquelle elle nous a secondé dans nos expériences.

Digitized by Google

jusqu'à l'âge de 12-13 ans, mais avec des ordonnées plus petites. Ce qui indique que le maximum d'acuité, chez les filles, est atteint entre 12 et 13 ans, au lieu de 14 à 15 ans. Or, nous avons vu que la puberté se produit chez ces dernières précisément à cette époque.

A partir de ce moment, la courbe devrait suivre une marche parallèle à celle qui correspond à la variation de l'acuité chez l'homme; mais plusieurs déterminations d'acuité faites sur des femmes d'un âge compris entre 60 et 80 ans nous ont montré que la valeur de l'acuité était à peu près la même que chez les hommes de même âge. En sorte que les courbes tendent à avoir les mêmes ordonnées, dans les deux sexes, à l'âge de l'extrême vieillesse. Jusqu'à ce moment de la vie, *l'acuité est plus faible chez la femme que chez l'homme.*

Quoi qu'il en soit, il y a une relation nette entre le maximum de l'acuité visuelle et l'âge de la puberté.

L'âge de la puberté qui sépare la deuxième enfance de l'adolescence n'est point un âge de convention. Ce moment de la vie correspond en effet à des modifications profondes de l'organisme, et l'on conçoit que ces modifications puissent produire une augmentation du degré de l'activité rétinienne, c'est-à-dire rendre *optima* la fonction visuelle, et en particulier la finesse de la vue, l'acuité.

Lorsqu'on rapproche de la variation de l'acuité telle que nous l'indiquons, la variation de l'amplitude d'accommodation, on peut s'étonner au premier abord de ce que ces deux phénomènes ne suivent pas une marche parallèle. Mais il n'y a entre ces deux phénomènes biologiques aucune relation.

En effet, l'accommodation est produite par l'augmentation du diamètre antéro-postérieur du cristallin qui, par la contraction des fibres circulaires du muscle ciliaire, tend à prendre la forme sphérique. Or, la fluidité de la substance cristallinienne est évidemment maxima chez l'enfant. Il n'est donc pas étonnant de voir le pouvoir accommodatif décroître depuis la première enfance jusqu'à la vieillesse.

Digitized by Google

Mais pour l'acuité, qui est le résultat d'une perception et d'une transmission nerveuses, on comprend que la variation se fasse en sens contraire jusqu'à un certain âge, à partir duquel, alors, les variations suivent la même allure.

Nous n'avons pu déterminer l'acuité visuelle qu'à partir de 6 ans, car en dessous de cet âge les enfants sont trop jeunes pour qu'on puisse faire une mesure sérieuse. Mais il nous paraît juste de prolonger notre courbe, en lui conservant la même forme, jusqu'à l'axe des acuités. On obtient ainsi, empiriquement, il est vrai, des valeurs comprises entre 0,98 et 1,14. Ce qui semble indiquer que l'acuité croît moins rapidement pendant la première enfance (depuis la naissance jusqu'à l'âge de 6 à 7 ans) que pendant la seconde (de 7 à 15 ans).

Nous devons faire ressortir de nos résultats expérimentaux une conséquence pratique qui a son importance. Nous voulons parler de la faible acuité des jeunes enfants. Lorsqu'on emploie la méthode de Donders pour la détermination d'une amétropie, on fait passer devant l'œil des verres de numéros variables jusqu'à ce que l'acuité visuelle soit rendue maxima. Si on emploie cette méthode pour les enfants qui, d'après ce que nous avons dit, auront peine à lire la dernière ligne de Snellen, on mettra cette faible valeur de l'acuité sur le compte de la myopie si on adopte la courbe classique, et en conséquence, on prescrira des verres divergents à des sujets qui sont, de par leur âge, hypermétropes pour la plupart.

Pour se convaincre de la véracité de ce que nous avançons, il suffit de se reporter aux mesures de Sismann (page 153), qui, sur 58 élèves d'une école d'Irkoutsk, a trouvé 38 myopes avec la méthode de Donders, alors qu'en réalité il n'y en avait qu'un seul! On comprend aisément l'importance de notre remarque (1).

La courbe que nous avons construite représente des

(1) On peut se demander pourquoi les auteurs ont attribué aux enfants l'acuité maxima. D'après nous, cela tient à deux causes principales:

1° Les enfants, étant presque tous hypermétropes, ont une portée de vue très


Digitized by Google

moyennes : elle ne se rapporte donc à aucun œil en particulier, comme toutes les moyennes, d'ailleurs. Il ne faudra pas, par suite, s'étonner si pour un âge déterminé, on trouve une acuité ou plus grande ou plus petite que celle indiquée par la courbe.

Les acuités qui en sont les ordonnées correspondent à un seul œil, pour un même sujet.

Lorsqu'on laisse les deux yeux ouverts, on trouve une acuité toujours supérieure à celle de chaque œil séparément : ainsi, nous avons bien souvent remarqué que si un œil a l'acuité 1,7, par exemple, l'acuité devient 1,9 ou 2 lorsque les deux yeux visent l'échelle. Nous aurions pu faire nos déterminations pour les deux yeux à la fois, et la courbe aurait été presque tangente à la ligne horizontale de l'ordonnée 2. La mesure ainsi faite aurait eu, en somme, assez bien sa raison d'être, car notre acuité, celle dont nous nous servons couramment, est en réalité celle qui correspond à la vision binoculaire et non à la vision monoculaire. Cette acuité, nous le répétons, est souvent trouvée voisine de 2, entre 15 et 30 ans : nos échelles, dont nous avons déjà démontré l'utilité, permettent seules de faire, dans ces conditions, des mesures exactes et d'une façon commode.

---

étendue; de là à admettre qu'ils ont une acuité maxima, il n'y a qu'un pas, qui a été franchi, sans y prendre garde, par beaucoup d'auteurs.

2° Avec les échelles actuellement en usage, qui sont placées, en général, à une distance constante de l'œil examiné, il était difficile que l'attention des ophtalmologistes fût attirée de ce côté, puisqu'avec ces échelles on ne détermine presque jamais la valeur-limite exacte de l'acuité d'un œil physiologique.

---

Digitized by Google

# NOTE

SUR

# L'ELIMINATION DE L'ERREUR D'EXCENTRICITÉ

## DES CERCLES GRADUÉS

PAR M. G. RAYET.

---

Les traités classiques d'astronomie pratique se bornent en général à montrer que dans la mesure d'un angle à l'aide d'un cercle gradué, l'erreur qui provient de la première puissance de l'excentricité est éliminée par l'emploi de deux verniers ou de deux microscopes disposés le long du cercle, et à 180° de distance. Seul M. Gruey, poussant l'approximation un peu plus loin, fait remarquer que avec $\frac{q}{2}$ couples de microscopes opposés, la partie de l'erreur d'excentricité non éliminée dans une mesure d'angle est de l'ordre de $e^q$, $e$ étant l'excentricité.

Ayant eu, à une époque récente, l'occasion d'étudier l'excentricité des cercles gradués de l'instrument méridien de l'Observatoire de Bordeaux, j'ai été conduit à traiter de nouveau, d'une manière complète, la théorie de l'excentricité des cercles, et je suis arrivé à la méthode suivante, qui me paraît donner une solution très complète, et assez simple, de la question proposée.

Je suppose, comme cela a lieu dans les cercles astronomiques, que le cercle divisé est mobile et que les verniers ou microscopes sont fixés sur un support spécial indépendant des portions mobiles du cercle méridien.

Soit O la chiffraison qui se trouve au point du cercle où la ligne d'excentricité, menée du centre de graduation vers le

Digitized by Google

centre de rotation, coupe la circonférence graduée, et considérons comme position initiale du cercle celle où la chiffraison 0 se trouve devant le zéro du vernier. Si, par une rotation dans le sens inverse des graduations croissantes de la division, on amène le cercle dans une position telle que la chiffraison A′ soit maintenant devant le vernier, la rotation apparente sera (A′ — 0) et la rotation vraie (A — 0), différente de la première par suite de l'excentricité du cercle.

Des considérations géométriques élémentaires, classiques, montrent qu'entre la lecture A′, faite devant le vernier, et la lecture A qu'on aurait obtenue pour la même rotation avec un cercle dépourvu d'excentricité, on a la relation

$$A = A' + \frac{e}{r}\sin(A' - 0) + \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2 \sin 2(A' - 0) + \ldots + \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin m(A' - 0) + \ldots,$$

équation dans laquelle $r$ est le rayon du cercle gradué et $e$ l'excentricité, la distance qui sépare le centre de graduation du centre de rotation.

Si on a un nombre entier $q$ de verniers régulièrement distribués, à intervalles égaux à $\frac{2\pi}{q}$, sur la circonférence, la série des lectures faites à ces divers verniers donnera les relations suivantes

1^er^ Vernier $A_1 = A'_1 + \frac{e}{r}\sin(A'_1 - 0) + \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2 \sin[2(A'_1 - 0)] + \ldots + \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin[m(A'_1 - 0)] + \ldots$

2^e^ Vernier $A_2 = A'_2 + \frac{e}{r}\sin\left[(A'_1 - 0) + \frac{2\pi}{q}\right] + \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2 \sin\left[2(A'_1 - 0) + 2.\frac{2\pi}{q}\right] + \ldots + \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin\left[m(A'_1 - 0) + m\frac{2\pi}{q}\right] + \ldots$

.....................................................

Digitized by Google

$p^{\text{e}}$ Vernier $A_p = A'_p + \frac{e}{r} \sin\left[(A'_1 - O) + \frac{(p-1)2\pi}{q}\right]$

$$+ \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2 \sin\left[2(A'_1 - O) + 2.\frac{(p-1)2\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin\left[m(A'_1 - O) + m\frac{(p-1)2\pi}{q}\right] + \ldots$$

..........................................................

$q^{\text{e}}$ Vernier $A_q = A'_q + \frac{e}{r} \sin\left[(A'_1 - O) + \frac{(q-1)2\pi}{q}\right]$

$$+ \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2 \sin\left[2(A'_1 - O) + 2.\frac{(q-1)2\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin\left[m(A'_1 - O) + m\frac{(q-1)2\pi}{q}\right] + \ldots$$

puisque les lectures $A'_1$, $A'_2$, ... $A'_p$ ... forment les termes d'une progression arithmétique dont le premier terme est $A'_1$ et la raison $\frac{2\pi}{q}$.

En ajoutant les $q$ équations précédentes, on obtient la nouvelle relation

$$\sum_1^q A = \sum_1^q A' + \frac{e}{r}\Big\{\sin[A'_1 - O] + \sin\left[(A'_1 - O) + \frac{2\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \sin\left[(A'_1 - O) + (p-1)\frac{2\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \sin\left[(A'_1 - O) + (q-1)\frac{2\pi}{q}\right]\Big\}$$

$$+ \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2\Big\{\sin[2(A'_1 - O)] + \sin\left[2(A'_1 - O) + \frac{4\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \sin\left[2(A'_1 - O) + (p-1)\frac{4\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \sin\left[2(A'_1 - O) + (q-1)\frac{4\pi}{q}\right]\Big\}$$

+ ..........................................................

$$+ \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m\Big\{\sin[m(A'_1 - O)] + \sin\left[m(A'_1 - O) + \frac{2m\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \sin\left[m(A'_1 - O) + (p-1)\frac{2m\pi}{q}\right] + \ldots$$

$$+ \sin\left[m(A'_1 - O) + (q-1)\frac{2m\pi}{q}\right]\Big\} + \ldots$$

Digitized by Google

Les quantités entre accolades sont des sommes de sinus de $q$ arcs en progression arithmétique, et ces sommes peuvent être effectuées par les formules connues. La relation précédente prend alors la forme

$$\sum_1^q A = \sum_1^q A' + \frac{e}{r}\frac{\sin\left[(A'_1 - 0) + \frac{q-1}{q}\pi\right]\sin\pi}{\sin\frac{\pi}{q}}$$

$$+ \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2\frac{\sin\left[2(A'_1 - 0) + \frac{q-1}{q}2\pi\right]\sin 2\pi}{\sin\frac{2\pi}{q}} + \ldots$$

$$+ \frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m\frac{\sin\left[m(A'_1 - 0) + \frac{q-1}{q}m\pi\right]\sin m\pi}{\sin\frac{m\pi}{q}} + \ldots.$$

La loi de formation des termes est évidente.

Au point de vue de la discussion, et pour retrouver la forme sous laquelle la relation précédente est en général employée, il convient de développer les coefficients des termes en $\frac{e}{r}$, $\left(\frac{e}{r}\right)^2$, .... L'équation précédente devient alors

$$\sum_1^q A = \sum_1^q A' + \frac{e}{r}\sin(A'_1 - 0)\cos\left(\frac{q-1}{q}\pi\right)\frac{\sin\pi}{\sin\frac{\pi}{q}}$$

$$+ \frac{e}{r}\cos(A'_1 - 0)\sin\left(\frac{q-1}{q}\pi\right)\frac{\sin\pi}{\sin\frac{\pi}{q}}$$

$$+ \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2\sin 2(A'_1 - 0)\cos\left(\frac{q-1}{q}2\pi\right)\frac{\sin 2\pi}{\sin\frac{2\pi}{q}}$$

$$+ \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^2\cos 2(A'_1 - 0)\sin\left(\frac{q-1}{q}2\pi\right)\frac{\sin 2\pi}{\sin\frac{2\pi}{q}}$$

$$+ \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Digitized by Google

$$+\frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin m(A'_1-0)\cos\left(\frac{q-1}{q}m\pi\right)\frac{\sin m\pi}{\sin\frac{m\pi}{q}}$$

$$+\frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \cos m(A'_1-0)\sin\frac{q-1}{q}m\pi\frac{\sin m\pi}{\sin\frac{m\pi}{q}}$$

$$+\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Il résulte de la forme de ces coefficients que les termes en $\frac{e}{r}$, $\left(\frac{e}{r}\right)^2$, $\left(\frac{e}{r}\right)^3$, ... seront nuls toutes les fois que leurs dénominateurs ne seront pas nuls, toutes les fois que $\frac{m}{q}\pi$ ne sera pas un multiple de $\pi$, toutes les fois que $\frac{m}{q}$ ne sera pas un nombre entier.

On retrouve ainsi facilement un certain nombre de résultats connus.

Avec un vernier, $q=1$, les erreurs d'excentricité subsistent en entier.

Avec deux verniers à 180° de distance, $q=2$, les erreurs qui dépendent des puissances impaires de $\frac{e}{r}$ disparaissent toutes, et les termes qui sont fonction des puissances paires se présentent sous la forme indéterminée de $\frac{0}{0}$; je montrerai dans un instant qu'ils sont en partie conservés.

Les termes de l'ordre $m$ pour lesquels $\frac{m}{q}$ est un nombre entier se présentent sous la forme $\frac{0}{0}$, mais cette indétermination est facile à lever. La formule de Moivre donne en effet

$$\sin m\pi=\sin q\frac{m\pi}{q}=q\left(\cos\frac{m\pi}{q}\right)^{q-1}\sin\frac{m\pi}{q}$$
$$+\frac{q(q-1)(q-2)}{1.2.3}\left(\cos\frac{m\pi}{q}\right)^{q-3}\sin^3\frac{m\pi}{q}+\ldots.$$

et alors les termes considérés peuvent s'écrire

$$\frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin m(A'_1 - 0)\cos\left(\frac{q-1}{q}m\pi\right)$$
$$\left[q\left(\cos\frac{m\pi}{q}\right)^{q-1} + \frac{q(q-1)(q-2)}{1.2.3}\left(\cos\frac{m\pi}{q}\right)^{q-3}\sin^2\frac{m\pi}{q} + \ldots\right]$$
$$\frac{1}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \cos m(A'_1 - 0)\sin\left(\frac{q-1}{q}m\pi\right)$$
$$\left[q\left(\cos\frac{m\pi}{q}\right)^{q-1} + \frac{q(q-1)(q-2)}{1.2.3}\left(\cos\frac{m\pi}{q}\right)^{q-3}\sin^2\frac{m\pi}{q} + \ldots\right]$$

Dans le cas où $\frac{m}{q}$ est un nombre entier, le second de ces termes est toujours nul et le premier se réduit à

$$(1)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{q}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \cos\left[(q-1)\frac{m\pi}{q}\right]\left[\cos\frac{m\pi}{q}\right]^{q-1}\sin m(A'_1 - 0) \\ &\qquad = \frac{q}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m\left[\cos\frac{m\pi}{q}\right]^{2(q-1)}\sin m(A'_1 - 0) \\ &\qquad = \frac{q}{m}\left(\frac{e}{r}\right)^m \sin m(A'_1 - 0). \end{aligned}\right.$$

Puisque, dans le cas où $\frac{m}{q}$ est un nombre entier,

$$\cos(q-1)\frac{m\pi}{q} = \left[\cos\frac{m\pi}{q}\right]^{q-1} \quad \text{et} \quad \left[\cos\frac{m\pi}{q}\right]^{2(q-1)} = 1,$$

le multiplicateur de $\sin m(A'_1 - 0)$ est donc toujours positif.

Les termes dépendant de l'excentricité du cercle qui seront conservés après les lectures à $q$ verniers équidistants et régulièrement distribués sur la circonférence graduée, seront donc obtenus en faisant successivement $m = q$, $m = 2q$, ... dans la seconde partie de la relation (1); ils auront par suite pour expressions

$$\left(\frac{e}{r}\right)^q \sin[\,q(A'_1 - 0)]$$
$$\frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^{2q} \sin[2q(A'_1 - 0)]$$
$$\frac{1}{3}\left(\frac{e}{r}\right)^{3q} \sin[3q(A'_1 - 0)]$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

Digitized by Google

Tous les autres termes dépendants des puissances différentes de $\frac{e}{r}$ sont nuls, et ces termes sont par suite éliminés dans la moyenne. On a donc la relation générale

$$\frac{\sum_1^q A}{q} = \frac{\sum_1^q A'}{q} + \frac{1}{q}\left[\left(\frac{e}{r}\right)^q \sin[q(A'_1 - O)] + \frac{1}{2}\left(\frac{e}{r}\right)^{2q} \sin[2q(A'_1 - O)] + \frac{1}{3}\left(\frac{e}{r}\right)^{3q} \sin[3q(A'_1 - O)] + \dots\right],$$

qui montre l'ordre de grandeur et la valeur numérique des erreurs non éliminées avec $q$ verniers équidistants.

Digitized by Google

Digitized by Google

# OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

## 5e MÉMOIRE

### THÉORIE MATHÉMATIQUE NOUVELLE DE LA POLARISATION RECTILIGNE DES PRINCIPAUX AGENTS PHYSIQUES ET, SPÉCIALEMENT, DE LA LUMIÈRE,

**PAR M. L'ABBÉ ISSALY.**

## INTRODUCTION

C'est pour expliquer ce que, dans le phénomène de la polarisation, Newton et Huyghens avaient nommé « les côtés opposés » des rayons lumineux que Fresnel a introduit dans la science l'hypothèse de leurs vibrations transversales.

Or, si l'on peut établir rigoureusement que tout rayon issu d'un ébranlement central de nature quelconque admet un corrélatif à lui, sorte d'*antirayon,* dont l'orientation variable dépend des surfaces ou des pseudo-surfaces auxquelles le premier se trouve rapporté, ne s'ensuivra-t-il pas que le plan défini par ces deux rayons sera, vis-à-vis du premier surtout, un plan de haute importance, très digne d'une étude approfondie, puisque sa réalisation physique, si elle a lieu, ne tend à rien moins qu'à rendre totalement superflue l'hypothèse de Fresnel et à faire croire, avec Arago et tant d'autres, que le mode de propagation des ondes lumineuses ou calorifiques est de même espèce que celui des ondes sonores?

Quoi qu'il en soit ici de cette grave induction, convenons dès à présent d'appeler *plan de polarisation (géométrique)* d'un rayon donné quelconque le plan exceptionnel dont nous venons de signaler l'existence. Il suffira d'ailleurs, pour justifier son titre, de montrer à l'occasion comment, dans les phéno-

Digitized by Google

mènes naturels, un pareil plan s'identifie ou tout au moins se coordonne avec celui que, d'après Malus, les physiciens qualifient du même nom. — Quelques explications de plus sur son origine ne seront pas, même ici, hors de propos, ce nous semble.

De nos Mémoires antérieurs il résulte que, suivant tout rayon géométrique, passe une double série de cônes du second degré, perpendiculaires entre eux deux à deux, et ayant pour limites extrêmes le cône de Malus et son orthogonal. Outre le rayon donné, ce double système contient encore une seconde génératrice fixe qui n'est autre que l'antirayon dont nous parlions tout à l'heure; d'où l'on peut prévoir déjà que, dans la double infinité de ces cônes, il en est toujours un, et un seul, qui s'évanouit sous la forme de deux plans sécants réels, à savoir: le plan du rayon et de l'antirayon, puis un second plan qui passe sans doute lui aussi toujours par l'origine, mais dont le rôle peut être comparé à celui que joue, dans l'intersection de coniques assujetties à passer par deux points fixes, celle des deux sécantes communes qui reste à l'écart de ces points.

Il sera question surtout, dans ce Mémoire, des variations que subit avec l'incidence, dans son orientation propre, le plan de polarisation géométrique, tant du rayon réfléchi que des rayons de première et de deuxième réfraction. Les courbes bipolaires dites *neutres* (c'est-à-dire ou blanches, ou noires, ou grises, exclusivement) nous fourniront, dans les cristaux, une preuve sensible de l'existence réelle, suivant nous, de l'antirayon et, comme conséquence, du plan de polarisation qui s'y rattache. Mais il nous faut avant tout revenir brièvement sur quelques-uns de nos précédents résultats.

---

Digitized by Google

# I

## Retour à quelques lieux géométriques connus.

**1.** I. — *Variété des cônes de Malus.* — Étant donnée une direction quelconque OL, dont nous désignons par ($\lambda$, $\mu$, $\nu$) les cosinus directeurs par rapport à un trièdre fixe $Oxyz$, on a vu (I, n° 12) que, par rapport au trièdre mobile OXYZ, on a, entre les trois variables $s$, $s'$, $s''$, les neuf relations :

$$(1)\quad \left\{\begin{aligned} &\rho\frac{\partial\lambda}{\partial s} = qZ - rY,\\ &\rho\frac{\partial\mu}{\partial s} = rX - pZ,\\ &\rho\frac{\partial\nu}{\partial s} = pY - qX,\\ &\rho\frac{\partial\lambda}{\partial s'} = q'Z - r'Y,\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right.$$

Quand le point M ou (X, Y, Z), au lieu d'être quelconque, appartient à OL, c'est-à-dire lorsque

$$\frac{X}{\lambda} = \frac{Y}{\mu} = \frac{Z}{\nu} = \rho,$$

ces mêmes relations (1) peuvent s'écrire:

$$(1')\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{\partial\lambda}{\partial s} = q\nu - r\mu,\\ &\frac{\partial\mu}{\partial s} = r\lambda - p\nu,\\ &\frac{\partial\nu}{\partial s} = p\mu - q\lambda,\\ &\frac{\partial\lambda}{\partial s'} = q'\nu - r'\mu,\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right.$$

Digitized by Google

C'est sous cette forme particulière que nous allons les utiliser.

1° Le cône proprement dit de Malus relatif à OL ayant pour équation, après la coïncidence des deux trièdres,

$$(\mu d\nu - \nu d\mu)X + (\nu d\lambda - \lambda d\nu)Y + (\lambda d\mu - \mu d\lambda)Z = 0,$$

avec

$$\frac{d\lambda}{dS} = \frac{\partial\lambda}{\partial s}X + \frac{\partial\lambda}{\partial s'}Y + \frac{\partial\lambda}{\partial s''}Z,$$

on peut, d'après (1'), lui donner la forme explicite :

$$(2)\quad \left\{ \begin{array}{l} \big\{\mu[(p\mu - q\lambda)X + (p'\mu - q'\lambda)Y + (p''\mu - q''\lambda)Z] \\ -\nu[(r\lambda - p\nu)X + (r'\lambda - q'\nu)Y + (r''\lambda - p''\nu)Z]\big\}X + \ldots = 0, \end{array} \right.$$

très avantageuse pour les applications.

2° On verra, de même, que le cône orthogonal de Malus, savoir :

$$Xd\lambda + Yd\mu + Zd\nu = 0,$$

devient

$$(3)\quad [(q\nu - r\mu)X + (q'\nu - r'\mu)Y + (q''\nu - r''\mu)Z]X + \ldots = 0.$$

3° Des deux cônes-limites précédents, on conclut la double série des cônes moyens et complémentaires :

$$(4)\quad \left\{ \begin{array}{l} \mathfrak{C}_1 \sin i + \mathfrak{C}_2 \cos i = 0, \\ \mathfrak{C}_1 \cos i - \mathfrak{C}_2 \sin i = 0, \end{array} \right.$$

équations dans lesquelles $\mathfrak{C}_1$ et $\mathfrak{C}_2$ désignent, comme on le sait, les premiers membres de (2) et de (3), au signe près.

**2.** II. — *Construction (par points) de la surface normo-directive.* — Nous rappellerons d'abord que cette surface $\Sigma_n$, est représentée (I, n° 14) par l'équation

$$(5)\quad \left\{ \begin{array}{l} [GX^2 + H'Y^2 + K''Z^2 + (K' + H'')YZ \\ \qquad + (G'' + K)ZX + (H + G')XY](X^2 + Y^2 + Z^2) \\ \quad - [(q' + r'')X^2 + (r'' + p)Y^2 + (p + q')Z^2 \\ \quad - (r' + q'')YZ - (p'' + r)ZX - (q + p')XY] + 1 = 0, \end{array} \right.$$

Digitized by Google

dans laquelle (I, n° 12)

$$G = q'r'' - r'q'', \quad H' = r''p - p''r, \quad K'' = pq' - qp'.$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots \quad \dots\dots\dots\dots\dots \quad \dots\dots\dots\dots\dots$$

Si l'on y fait, en particulier, X = 0, Y = 0, il vient :

$$(6) \qquad \frac{1}{Z^4} - (p + q')\frac{1}{Z^2} + (pq' - qp') = 0,$$

ce qui définit les foyers anoptiques ***réduits*** du rayon OZ.

D'autre part, on a vu au n° 9 du mémoire cité que les lignes asymptotiques de la pseudo-surface $\mathcal{F}'$ tangente au plan des XY ont pour équation

$$q\,ds^2 - (p - q')\,ds\,ds' - p'\,ds'^2 = 0,$$

et sont, conséquemment, ***obliques*** entre elles tant que la condition ***minima*** $q = p'$ n'est pas remplie. Or, de cette équation on tire :

$$(a) \left\{ \begin{aligned} &\frac{p\,ds + p'ds'}{ds} = \frac{q\,ds + q'ds'}{ds'} = \frac{p\,ds^2 + (q + p')ds\,ds' + q'ds'^2}{dS^2} \\ &\qquad = \frac{1}{f''^2} = \frac{1}{r_0}, \end{aligned} \right.$$

en désignant par $f''^2$ une longueur proportionnelle à la distance à l'origine de l'un quelconque des foyers anoptiques réduits de OZ, et par $\frac{1}{r_0}$ la courbure de front (torsion géodésique) des lignes précédentes, courbure qui ne diffère pas pour elles, on le sait, de leur déviation verticale $\frac{1}{v}$, puisque, dans la relation qui exprime celle-ci, savoir : $\frac{1}{v^2} = \frac{1}{r_0^2} + \frac{1}{r''^2}$, la composante $\frac{1}{r''}$ est nulle, par hypothèse.

Quoi qu'il en soit, on déduit de $(a)$ :

$$(6') \qquad \frac{1}{f''^4} - (p + q')\frac{1}{f''^2} + (pq' - qp') = 0,$$

d'où, par comparaison avec (6) : $f'' = Z$, ainsi qu'on pouvait s'y attendre.

Digitized by Google

On en conclut encore $f'' = \sqrt{r_0}$; et comme, en vertu de la série de rapports égaux qui sert de *définition* (I, n° 14) à la surface $\Sigma_{n_0}$, savoir :

$$(b) \qquad \frac{\mu d\nu - \nu d\mu}{ds} = \frac{\nu d\lambda - \lambda d\nu}{ds'} = \frac{\lambda d\mu - \mu d\lambda}{ds''} = \frac{1}{f^2},$$

tous les rayons issus de l'origine se trouvent, en ce qui concerne leurs foyers anoptiques, dans les mêmes conditions que le rayon OZ, on a généralement pour chacun d'eux : $f = \sqrt{r_0}$. De là cette règle :

Pour construire (par points) la surface normo-directive (5), il suffit de mener par l'origine des plans orientés de toutes les manières possibles et de porter, de part et d'autre de chacun d'eux, sur leur normale respective deux segments ayant pour mesure *les racines carrées des rayons de courbure de front ou de déviation verticale* des deux lignes asymptotiques obliques appartenant en commun aux diverses pseudo-surfaces $\mathcal{F}_\nu$, tangentes aux plans considérés, et assujetties à avoir une relation arbitraire, mais déterminée, avec les trois pseudo-surfaces coordonnées $\mathcal{F}$, $\mathcal{F}'$, $\mathcal{F}''$. Le lieu des extrémités de ces segments sera précisément la surface $\Sigma_{n_0}$.

**3.** III. — *Quadrique génératrice de la surface normo-directive.* — On peut donner à la règle précédente une autre forme en prouvant que les segments $\sqrt{r_0}$ qu'elle fait intervenir font de la quadrique

$$(7) \quad pX^2 + q'Y^2 + r''Z^2 + (r' + q'')YZ + (p'' + r)ZX + (q + p')XY = 1,$$

déjà signalée par nous (I, n° 15), une quadrique *génératrice* de $\Sigma_{n_0}$, à la manière dont

$$(8) \qquad pX^2 + q'Y^2 + r''Z^2 + 2r'YZ + 2p''ZX + 2qXY = 1$$

l'est de la surface absolue de l'onde $\Sigma_g$ (III, n° 1).

En effet, faisons $Z = 0$ dans (7); nous obtiendrons l'équation

$$(9) \qquad pX^2 + (q + p')XY + q'Y^2 = 1,$$

Digitized by Google

de laquelle on tire, eu égard à la proportionnalité des coordonnées courantes avec les arcs $ds$, $ds'$, $ds''$ et aux relations ($a$) :

$$p\,ds^2 + (q + p')ds\,ds' + q'\,ds'^2 = \frac{dS^2}{r_0}.$$

Le segment $\sqrt{r_0}$ est donc le rayon vecteur de la quadrique (9), et l'on constate, au surplus, que, parmi ces rayons, les deux qui mesurent les racines carrées des courbures de front des lignes asymptotiques de $\mathcal{F}'$ satisfont, d'après ($a$), à l'équation

$$\frac{1}{r_0^2} - (p + q')\frac{1}{r_0} + (pq' - qp') = 0;$$

mais, en vertu de ($b$), il existe, pour *toute* section centrale faite dans la quadrique (7), un couple de segments $\sqrt{r_0}$ jouissant de la même propriété sur chacun des deux sens de la normale correspondante. La dénomination de quadrique génératrice de $\Sigma_{n_0}$ attribuée à cette dernière surface se trouve donc par là-même justifiée.

Terminons par une importante remarque.

L'équation aux carrés des demi-axes de la conique (9), savoir :

$$(10) \qquad \frac{1}{R^4} - (p + q')\frac{1}{R^2} + \left[pq' - \frac{1}{4}(q + p')^2\right] = 0,$$

ne coïncide avec l'équation aux foyers réduits (6′) que lorsqu'on a $q = p'$. Donc, les demi-axes des sections centrales de la quadrique génératrice (7) ne peuvent remplacer les segments $\sqrt{r_0}$, dans la construction de la surface $\Sigma_{n_0}$, que lorsque celle-ci devient *minima*, c'est-à-dire se transforme en la surface absolue de l'onde $\Sigma_g$.

Ainsi s'explique et se précise, à la fois, la construction usuelle de la surface de Fresnel, notamment.

Digitized by Google

## II

**Relations fondamentales qui existent entre les sections centrales de la quadrique génératrice de la surface normo-directive, d'une part, et la variété des cônes de Malus relatifs aux normales menées à ces sections, d'autre part.**

---

4. Théorème I. — *Étant donnés, dans la quadrique génératrice de la surface normo-directive, une section centrale quelconque, la normale à cette section et le cône proprement dit de Malus relatif à cette normale, les axes de figure de la section sont parallèles aux axes de figure des diverses sections faites dans le cône parallèlement au plan sécant donné.*

Pour le démontrer, observons d'abord que la quadrique et son cône asymptote, que nous désignerons respectivement, pour abréger, par Q et Γ, ayant toutes leurs sections planes correspondantes homothétiques, il sera équivalent et plus simple de comparer entre elles celles faites par un même plan dans le cône asymptote Γ et dans le cône de Malus donné $C_1$. — Soit donc

$$(11)\quad pX^2+q'Y^2+r''Z^2+(r'+q'')YZ+(p''+r)ZX+(q+p')XY=0$$

l'équation du premier de ces cônes. Rapportons-le à un nouveau trièdre trirectangle $Oxyz$, de même sommet que le trièdre OXYZ, mais d'orientation quelconque; on aura les formules de transformation:

$$(12)\quad \left\{\begin{array}{l} X=\alpha x+\alpha' y+\alpha'' z,\\ Y=\beta x+\beta' y+\beta'' z,\\ Z=\gamma x+\gamma' y+\gamma'' z,\end{array}\right.$$

conjointement avec les relations bien connues qui lient entre eux les neuf cosinus directeurs $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\alpha'$... des trois arêtes. Au

Digitized by Google

moyen de ces valeurs, la nouvelle équation du cône $\Gamma$ prendra la forme

$$(13)\quad \left\{ \begin{aligned} \varphi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = \mathrm{A}\mathbf{x}^2 + \mathrm{A}'\mathbf{y}^2 + \mathrm{A}''\mathbf{z}^2 + 2\mathrm{B}\mathbf{yz} + 2\mathrm{B}'\mathbf{zx} \\ + 2\mathrm{B}''\mathbf{xy} = 0, \end{aligned} \right.$$

en posant

$$\begin{aligned} \mathrm{A} &= \Sigma p\alpha^2 + \Sigma(r' + q'')\beta\gamma, \\ \mathrm{A}' &= \Sigma p\alpha'^2 + \Sigma(r' + q'')\beta'\gamma', \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ \mathrm{B} &= \Sigma p\alpha'\alpha'' + \tfrac{1}{2}\Sigma(r' + q'')(\gamma'\beta'' + \gamma''\beta'), \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}$$

D'autre part, si l'on substitue aussi les formules (12) dans l'équation (2) du cône $C_1$ de Malus relatif à l'axe $O\mathbf{z}$, par exemple (choix qui nécessite que l'on fasse $\lambda = \alpha''$, $\nu = \beta''$, $\nu = \gamma''$ et qu'on érige par là-même en trièdre *azimutal* de $O\mathbf{z}$ (III, n° 15), le trièdre $O\mathbf{xyz}$ resté jusqu'ici quelconque), on obtiendra pour nouvelle équation de $C_1$ :

$$(14)\qquad \mathrm{A}\mathbf{x}^2 + \mathrm{A}'\mathbf{y}^2 + \mathrm{B}_1\mathbf{yz} + \mathrm{B}_1'\mathbf{zx} + 2\mathrm{B}''\mathbf{xy} = 0,$$

ou encore

$$(14')\qquad (\mathrm{A}\mathbf{x} + \mathrm{B}''\mathbf{y} + \mathrm{B}_1'\mathbf{z})\mathbf{x} + (\mathrm{B}''\mathbf{x} + \mathrm{A}'\mathbf{y} + \mathrm{B}_1\mathbf{z})\mathbf{y} = 0,$$

les coefficients $\mathrm{A}$, $\mathrm{A}'$, $\mathrm{B}''$ ayant même signification que dans (13) et les nouveaux ayant pour expression

$$\begin{aligned} \mathrm{B}_1 &= \Sigma p\alpha'\alpha'' + \Sigma(r'\gamma'\beta'' + q''\gamma''\beta'), \\ \mathrm{B}_1' &= \Sigma p\alpha''\alpha\ \ + \Sigma(r'\beta''\gamma\ \ + q''\gamma''\beta). \end{aligned}$$

Cela posé, coupons les cônes $\Gamma$ et $C_1$ par le plan horizontal variable $\mathbf{z} = \zeta$. Les termes du second degré restant les mêmes dans les coniques de section, il s'ensuit que ces coniques sont homothétiques et, partant, que leurs axes de figure sont parallèles, ce qu'il fallait démontrer.

**5.** *Corollaires.* — I. Le plan tangent $P_1$ au cône $C_1$, le long de $O\mathbf{z}$, est donné ici, sans nouveau calcul, par l'ensemble des

Digitized by Google

termes du premier degré en $\mathbf{z}$ égalé à zéro. On peut donc l'écrire

$$(15) \qquad \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \operatorname{tg} \mathbf{a}_1 = -\frac{B_1'}{B_2},$$

$\mathbf{a}_1$ désignant l'azimut de $P_1$.

II. — Lorsque les conditions minima

$$(16) \qquad r' = q', \qquad p' = r, \qquad q = p'$$

sont remplies, on constate que $B_2 = B$ et que $B_1' = B'$. L'équation de $C_1$ devient donc alors

$$(17) \qquad A\mathbf{x}^2 + A'\mathbf{y}^2 + B\mathbf{yz} + B'\mathbf{zx} + 2B'\mathbf{xy} = 0,$$

ou bien

$$(17') \qquad (A\mathbf{x} + B'\mathbf{y} + B'\mathbf{z})\mathbf{x} + (B'\mathbf{x} + A'\mathbf{y} + B\mathbf{z})\mathbf{y} = 0.$$

On en conclut, pour le cas particulier actuel qui n'est rien moins que celui de la surface absolue de l'onde $\Sigma_0$, une règle pratique évidente et fort simple pour déduire notamment l'équation (17) du cône $C_1$ de l'équation (13) du cône $\Gamma$, bien aisée elle-même, pour sa part, à former.

**6.** Théorème II. — *Si, dans l'énoncé du théorème I, on substitue au cône de Malus son orthogonal, les sections horizontales produites dans ce dernier cône et dans le cône asymptote de la quadrique génératrice auront leurs axes de figures inclinés entre eux à 45°.*

Procédons comme dans le premier cas et substituons à la quadrique Q son cône asymptote $\Gamma$ ou (11). Après avoir obtenu la transformée (13), portons les valeurs (12) dans l'équation générale (3) du cône orthogonal $C_2$. Faisant ensuite coïncider OL avec O$\mathbf{z}$, on trouvera pour nouvelle équation de $C_2$ :

$$(18) \qquad B_1'\mathbf{x}^2 - B_2'\mathbf{y}^2 - B_1'\mathbf{yz} + B_2\mathbf{zx} - (A - A')\mathbf{xy} = 0,$$

ou encore

$$(18') \qquad (B_1'\mathbf{x} + A'\mathbf{y} + B_2\mathbf{z})\mathbf{x} - (A\mathbf{x} + B_2'\mathbf{y} + B_1'\mathbf{z})\mathbf{y} = 0,$$

Digitized by Google

les coefficients $A, A', B_1, B'$ étant les mêmes que dans le théorème précédent, et les nouveaux $B''_1$, $B''_2$, ayant pour expression

$$B''_1 = \Sigma p\alpha\alpha' + \Sigma(r'\beta\gamma' + q''\gamma\beta'),$$
$$B''_2 = \Sigma p\alpha\alpha' + \Sigma(r'\gamma\beta' + q''\beta\gamma'),$$

valeurs qui entraînent, remarquons-le en passant, la relation simple

$$(19)\qquad B''_1 + B''_2 = 2B'',$$

et permettent d'écrire le cône $C_1$ sous cette forme plus approchante de celle du cône $C_2$ ou (18′), savoir :

$$(A\mathbf{x} + B''_2\mathbf{y} + B'_1\mathbf{z})\mathbf{x} + (B''_1\mathbf{x} + A'\mathbf{y} + B_2\mathbf{z})\mathbf{y} = 0.$$

Actuellement, coupons les cônes $\Gamma$ et $C_2$ par le plan $\mathbf{z} = \zeta$. En tenant compte de (19), on aura pour déterminer, à partir de $O\mathbf{x}$, les axes de figure des coniques de section

$$\operatorname{tg} 2\omega = \frac{2B''}{A - A'}, \qquad \operatorname{tg} 2\omega_2 = -\frac{A - A'}{2B''}.$$

On en déduit $\operatorname{tg} 2\omega_2 = -\cot 2\omega$ et, par suite, $\omega_2 = \omega \pm \frac{\pi}{4}$, avec cette remarque que $\omega$ peut, d'après le théorème I, y être remplacé par $\omega_1$, ce qu'il fallait démontrer.

7. *Corollaires.* — I. L'équation (18) nous fournit immédiatement celle du plan tangent $P_2$ au cône $C_2$, savoir :

$$(20)\qquad \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \operatorname{tg} \mathbf{a}_2 = \frac{B_2}{B'_1},$$

$\mathbf{a}_2$ désignant l'azimut de $P_2$. — On en conclut : $\operatorname{tg}\mathbf{a}_1 \operatorname{tg}\mathbf{a}_2 = -1$, ce qui est une vérification de l'orthogonalité des plans $P_1$ et $P_2$.

II. Dans le cas où les conditions minima (16) sont satisfaites, on constate que $B''_1 = B''_2 = B''$. L'équation du cône $C_2$ devient alors

$$(21)\qquad B''(\mathbf{x}^2 - \mathbf{y}^2) - B'\mathbf{y}\mathbf{z} + B\mathbf{z}\mathbf{x} - (A - A')\mathbf{x}\mathbf{y} = 0,$$

ou bien

$$(21')\qquad (B''\mathbf{x} + A'\mathbf{y} + B\mathbf{z})\mathbf{x} - (A\mathbf{x} + B''\mathbf{y} + B'\mathbf{z})\mathbf{y} = 0.$$

Digitized by Google

On saura donc la déduire, par une loi elle aussi très simple, de l'équation du cône $\Gamma$ ou (13).

Entre autres particularités, observons que, d'après (21), les lignes asymptotiques restent *rectangulaires* entre elles dans *toutes* les sections centrales faites dans la quadrique Q, ce qui n'a lieu pour les lignes de courbure, d'après (17), que lorsque $A = -A'$, c'est-à-dire quand $\mathcal{F}'$ devient une *surface minima*.

**8.** Théorème III. — *Si, dans l'énoncé du théorème I, on substitue au cône de Malus la double série des cônes moyens ou complémentaires, les sections horizontales produites dans ces cônes et dans le cône asymptote de la quadrique génératrice auront leurs axes de figure inclinés respectivement entre eux de* $\frac{i}{2} \pm \frac{\pi}{4}$ *ou de* $\frac{i}{2}$, *suivant la série que l'on considère.*

1° Reportons-nous à la première des équations générales (4), et remplaçons-y $\mathfrak{C}_1$ et $-\mathfrak{C}_2$ par les premiers membres de (14) et de (18); on aura pour l'équation développée des cônes de la première série :

$$(22)\quad \left\{\begin{aligned} &(A \sin i - B_1'' \cos i)x^2 + (A' \sin i + B_2'' \cos i)y^2 \\ &+ (B_2 \sin i + B_1' \cos i)yz + (B_1' \sin i - B_2 \cos i)zx \\ &+ [2B'' \sin i + (A - A') \cos i]xy = 0, \end{aligned}\right.$$

ce qu'on peut aussi écrire

$$(22')\quad \left\{\begin{aligned} &(Ax + B_2''y + B_1'z)(x \sin i + y \cos i) \\ &-(B_1''x + A'y + B_2z)(x \cos i - y \sin i) = 0. \end{aligned}\right.$$

En s'aidant de la relation (19), on tire immédiatement de la première forme, pour calculer la direction des axes de figure des sections horizontales de ces cônes,

$$\operatorname{tg} 2\omega_i = -\frac{2B'' \sin i + (A - A')\cos i}{2B'' \cos i - (A - A')\sin i} = -\cot(2\omega - i),$$

d'où

$$\omega_i = \omega - \frac{i}{2} \pm \frac{\pi}{4}.$$

Digitized by Google

2° On sait, d'autre part, que, pour passer de la première à la deuxième série, il suffit de changer partout ce que nous nommerons désormais l'*obliquité i* en l'obliquité $i \pm \frac{\pi}{2}$. Il vient donc pour les axes de la deuxième série :

$$\operatorname{tg} 2\omega_j = \frac{2B' \cos i - (A - A') \sin i}{2B' \sin i + (A - A') \cos i} = \operatorname{tg}(2\omega - i),$$

d'où l'on tire $\omega_j = \omega - \frac{i}{2}$, ce qu'il fallait démontrer.

En rapprochant ce résultat du précédent, on voit que, pour chaque valeur de $i$, on a $\omega_j = \omega_i \mp \frac{\pi}{4}$. Ainsi, l'écart des axes qui se correspondent dans les deux séries est constamment égal à 45°.

**9**. *Corollaires.* — I. Désignons par $\mathbf{a}_i$ et $\mathbf{a}_j$ les azimuts des plans tangents moyens et complémentaires $P_i$ et $P_j$ correspondant à une valeur quelconque de $i$, plans que nous donnent d'elles-mêmes l'équation (22) et sa transformée en $i \pm \frac{\pi}{2}$ ; on aura

$$(23)\quad \left\{\begin{aligned} \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} &= \operatorname{tg} \mathbf{a}_i = -\frac{B'_1 \sin i - B_2 \cos i}{B_2 \sin i + B'_1 \cos i} = -\cot(\mathbf{a}_1 - i), \\ \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} &= \operatorname{tg} \mathbf{a}_j = \quad \frac{B_2 \sin i + B'_1 \cos i}{B'_1 \sin i - B_2 \cos i} = \operatorname{tg}(\mathbf{a}_1 - i); \end{aligned}\right.$$

d'où l'on déduit

$$(24)\quad \left\{\begin{aligned} \mathbf{a}_i &= (\mathbf{a}_1 - i) \pm \frac{\pi}{2} = \mathbf{a}_2 - i, \\ \mathbf{a}_j &= \mathbf{a}_1 - i = (\mathbf{a}_2 - i) \pm \frac{\pi}{2}. \end{aligned}\right.$$

Comme $\mathbf{a}_1$ et $\mathbf{a}_2$ sont fixes, $\mathbf{a}_i$ et $\mathbf{a}_j$ varient de la même quantité angulaire que l'obliquité $i$. On peut donc énoncer cette propriété que nous retrouverons plus tard :

*Tandis que le système des axes de figure des sections horizontales de la variété entière des cônes de Malus tourne d'un angle égal à $\frac{i}{2} \pm \frac{\pi}{4}$ pour la première série et de $\frac{i}{2}$ pour*

*la seconde, le système correspondant des plans tangents à ces cônes tourne, autour de leur arête commune des angles doubles,* $i \pm \frac{\pi}{2}$ *et* $i$.

II. Dans le cas particulier de la surface de l'onde $\Sigma_o$, toutes les formules précédentes restent vraies. Il suffit d'y supprimer les indices, et l'on a, notamment, à la place de l'équation (22'),

$$(22') \quad \left\{ \begin{aligned} &(A\,x + B''y + B'z)(x \sin i + y \cos i) \\ &-(B''x + A'y + B\,z)(x \cos i + y \sin i) = 0. \end{aligned} \right.$$

---

# III

## Application des théorèmes précédents au rayon réfléchi (médian) dans le cas des substances homogènes.

---

**10.** Pour pouvoir introduire dans nos formules l'angle d'incidence ou de réflexion I, que nous supposerons, comme dans notre précédent Mémoire, situé dans le plan médian $X = Y$ ou $y = 0$, il nous faut substituer à la transformation tout à fait générale de coordonnées qui convenait si bien à nos théorèmes fondamentaux une transformation particulière et en harmonie avec la question présente; c'est pourquoi nous ferons

$$(25) \quad \left\{ \begin{aligned} &\alpha = \frac{\cos I}{\sqrt{2}}, \quad \alpha' = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \alpha'' = \lambda = \frac{\sin I}{\sqrt{2}}, \\ &\beta = \frac{\cos I}{\sqrt{2}}, \quad \beta' = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \beta'' = \mu = \frac{\sin I}{\sqrt{2}}, \\ &\gamma = -\sin I, \quad \gamma' = 0, \quad \gamma'' = \nu = \cos I. \end{aligned} \right.$$

Outre l'avantage signalé plus haut, ces valeurs auront celui de mettre *immédiatement* le rayon réfléchi OL dans la direction du nouvel axe des $z$. Elles donnent d'ailleurs pour exprimer

Digitized by Google

les coordonnées (X, Y, Z) d'un point quelconque de l'espace relatives au trièdre mobile OXYZ

$$(26)\quad \begin{cases} X\sqrt{2} = \mathbf{x}\cos I - \mathbf{y} + \mathbf{z}\sin I, \\ Y\sqrt{2} = \mathbf{x}\cos I + \mathbf{y} + \mathbf{z}\sin I, \\ \quad Z = -\mathbf{x}\sin I + \mathbf{z}\cos I. \end{cases}$$

Cela étant, on se rappelle que la direction du rayon réfléchi implique essentiellement, d'après le Mémoire cité, que les pseudo-surfaces coordonnées se soient transformées en *surfaces* minima, celles-ci étant d'ailleurs caractérisées, comme on le sait (III, n° 12) par les conditions

$$(27)\quad \begin{cases} p = 0, & r' = q'' = -f, \\ q' = 0, & p'' = r = -g', \\ r'' = 0, & q = p' = -h''. \end{cases}$$

Le cône asymptote Γ ou

$$2fYZ + 2g'ZX + 2h''XY = 0,$$

de l'hyperboloïde générateur de la surface des ondes réfléchies $\Sigma_1'$ deviendra par ces hypothèses et à l'aide des valeurs (26) :

$$(28)\quad \begin{cases} (h'' - \mathfrak{N})\mathbf{x}^2 + h''\mathbf{y}^2 + (\mathfrak{N} - 2h'')\mathbf{z}^2 \\ -\sqrt{2}(f - g')\cos I.\mathbf{yz} + \mathfrak{M}\sqrt{2}.\mathbf{zx} + \sqrt{2}(f - g')\sin I.\mathbf{xy} = 0, \end{cases}$$

en faisant, pour abréger :

$$(29)\quad \begin{cases} \mathfrak{M} = (f + g')\sin^2 I - h''\sqrt{2}\sin I\cos I - (f + g')\cos^2 I, \\ \mathfrak{N} = h''\sin^2 I - \sqrt{2}(f + g')\sin I\cos I + 2h''\cos^2 I. \end{cases}$$

Cette équation (28) n'est autre que la transformée (13) adaptée au cas présent. On a donc, eu égard à ce qu'ici $B_1 = B$ et $B_1' = B'$ :

$$(30)\quad \begin{cases} A = h'' - \mathfrak{N}, & B = -\dfrac{1}{\sqrt{2}}(f - g')\cos I, \\ A' = h'', & B' = \dfrac{1}{\sqrt{2}}\mathfrak{M}, \\ A'' = \mathfrak{N} - 2h'', & B'' = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(f - g')\sin I. \end{cases}$$

Digitized by Google

Mais avant de passer outre, arrêtons-nous un instant aux fonctions $\mathcal{M}$ et $\mathcal{N}$.

La première a figuré déjà dans le Mémoire en question sous la forme équivalente

$$-\mathcal{M} = \frac{h'}{\sqrt{2}} \sin 2\mathrm{I} + (f+g') \cos 2\mathrm{I}.$$

Égalée à zéro, elle nous a fourni l'angle de polarisation maximum $\mathrm{I}_p$.

Quant à la seconde $\mathcal{N}$, il est aisé de voir qu'elle est, dans le plan $\mathrm{X} = \mathrm{Y}$ par rapport aux *axes optiques* de la surface $\Sigma'_1$, ce que la fonction $\mathcal{M}$ est par rapport à ses *axes principaux*. En effet, d'après (III, n° 6), ces deux couples de directions sont définis respectivement par le système

$$(29') \quad \begin{cases} \mathcal{M}_0 = f\sqrt{2} \sin^2 \mathrm{I} - h' \sin \mathrm{I} \cos \mathrm{I} - f\sqrt{2} \cos^2 \mathrm{I}, \\ \mathcal{N}_0 = h' \sin^2 \mathrm{I} - 2\sqrt{2} f \sin \mathrm{I} \cos \mathrm{I} + 2h' \cos^2 \mathrm{I}. \end{cases}$$

Or, pour passer de $\mathcal{M} = \mathcal{N} = 0$ à $\mathcal{M}_0 = \mathcal{N}_0 = 0$, il suffit de supposer que $f = g'$.

D'ailleurs, si l'on désigne par $\operatorname{tg} \mathrm{I}_u$ et $\operatorname{tg} \mathrm{I}_v$ les racines de l'équation $\mathcal{N} = 0$, on vérifie aisément que l'on a dans tous les cas : $\frac{1}{2}(\mathrm{I}_u + \mathrm{I}_v) = \mathrm{I}_p$, ce qui est la généralisation manifeste de la propriété dont jouit l'angle aigu des axes optiques et nous ramène à l'observation d'Arago (III, n° 22).

Pour obtenir successivement les équations des divers cônes de Malus relatifs à la direction donnée OL ou O$\mathbf{z}$, il suffira d'appliquer les lois de formation mises en évidence par les théorèmes du paragraphe précédent.

1° Et d'abord, l'équation du cône $\mathrm{C}_1$ de Malus est d'après (17) et (30) :

$$(31) \quad \begin{cases} (h' - \mathcal{N})\mathbf{x}^2 + h'\mathbf{y}^2 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}}(f-g') \cos \mathrm{I}.\mathbf{yz} + \frac{\mathcal{M}}{\sqrt{2}}\mathbf{zx} + \sqrt{2}(f-g') \sin \mathrm{I}.\mathbf{xy} = 0. \end{cases}$$

Digitized by Google

On en déduit immédiatement celle du plan tangent $P_1$, le long de $O\mathbf{z}$, savoir :

$$\text{(32)}\qquad \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \operatorname{tg} a_1 = \frac{\mathcal{M}}{(f-g')\cos I},$$

résultat qui ne diffère que par l'accentuation de celui obtenu par un calcul direct (III, n° 15).

Pour $f = g'$ et $\mathcal{M} = 0$, ce plan tangent est indéterminé, tandis que le cône lui-même $C_1$ se réduit aux deux plans sécants

$$\mathbf{x}^2 + (n^2 - 1)\mathbf{y}^2 = 0,$$

en se souvenant que $\operatorname{tg} I_p = n$, d'après la loi de Brœwster.

2° L'orthogonal du cône de Malus $C_2$ est, d'après (21) :

$$\text{(33)}\qquad \left\{\begin{aligned} &\frac{1}{\sqrt{2}}(f-g')\sin I(\mathbf{x}^2-\mathbf{y}^2) \\ &-\frac{\mathcal{M}}{\sqrt{2}}\mathbf{yz} - \frac{1}{\sqrt{2}}(f-g')\cos I.\mathbf{zx} + \mathcal{N}\mathbf{xy} = 0; \end{aligned}\right.$$

d'où l'on déduit pour son plan tangent $P_2$, le long de $O\mathbf{z}$,

$$\text{(34)}\qquad \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \operatorname{tg} a_2 = -\frac{(f-g')\cos I}{\mathcal{M}},$$

résultat d'accord avec celui obtenu (III, 26‴).

En désignant par $\mathcal{N}_p$ ce que devient la fonction $\mathcal{N}$ pour $I = I_p$, on voit aussitôt que, lorsque $O\mathbf{z}$ est dans la direction $OA_p$, le cône $C_2$ se réduit à $\mathcal{N}_p\,\mathbf{xy} = 0$, c'est-à-dire aux deux plans coordonnés, à moins que l'on n'ait $\mathcal{N}_p = 0$, cas où la surface $\Sigma_1'$ est de révolution.

Restons dans le cas où l'on aurait simplement $f = g'$. Le cône $C_2$ est toujours évanouissant et ses plans composants sont le plan de profil $\mathbf{y} = 0$ et le plan variable orthogonal

$$\frac{\mathbf{x}}{\mathbf{z}} = \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{N}\sqrt{2}} = \frac{f+g'}{h'\sqrt{2}}\left[\frac{(\operatorname{tg} I - \operatorname{tg} I_p)(\operatorname{tg} I + \cot I_p)}{(\operatorname{tg} I - \operatorname{tg} I_u)(\operatorname{tg} I - \operatorname{tg} I_v)}\right],$$

expression remarquable que l'on peut simplifier encore. Il

Digitized by Google

suffit en effet d'observer que, puisque, en vertu de la relation $\frac{1}{2}(I_u + I_v) = I_p$, on a : $I_u = I_p - \chi_o$ et $I_v = I_p + \chi_o$, si l'on convient de poser $I = I_p \pm \chi$, l'équation précédente deviendra

$$\frac{x}{z} = \pm H \frac{\operatorname{tg} \chi}{\operatorname{tg}^2 \chi - \operatorname{tg}^2 \chi_0},$$

H désignant une constante.

3° En ce qui concerne les cônes moyens $C_i$, par exemple, leur équation résultera immédiatement de l'équation générale (22) aussi bien que celle de leurs plans tangents $P_i$, savoir :

$$(35) \qquad \frac{y}{x} = \operatorname{tg} a_i = -\frac{\mathcal{M} \sin i + (f - g') \cos I \cos i}{\mathcal{M} \cos i - (f - g') \cos I \sin i}.$$

On passera ensuite à la série complémentaire par la transformation connue.

En nous en tenant à la première série, on constate que pour $f = g'$ et $\mathcal{M} = 0$, l'équation des cônes $C_i$ devient

$$(h' - \mathcal{N}_p)x^2 + \mathcal{N}_p \cot i . xy + h'y^2 = 0.$$

C'est un système de couples de plans sécants variant avec l'obliquité $i$ et soumis à la condition de réalité

$$\operatorname{tg}^2 i \leqq \frac{(n^2 + 1)(n^2 - 2)^2}{4(n^2 - 1)},$$

dans laquelle $n = \operatorname{tg} I_p$. — On en conclut qu'au maximum ou au minimum de $i$ correspond l'un ou l'autre des plans symétriques

$$\frac{y}{x} = \pm \frac{\cos I_p}{\sqrt{\cos(\pi - 2I_p)}} = \pm \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} = \pm \operatorname{tg} R_l,$$

$R_l$ désignant l'angle-limite calculé d'après la relation de Descartes $\sin R_l = \frac{1}{n}$, résultat aussi simple qu'inattendu.

Digitized by Google

# IV

## Plan de polarisation d'un rayon quelconque. Connexe de ce plan. — Antirayon.

—

**11.** Supposons, à nouveau, que les trois pseudo-surfaces coordonnées soient quelconques. De la forme (22') donnée à l'équation (22), on conclut que tous les cônes moyens ou complémentaires relatifs à un rayon donné OL ou O$z$ passent toujours par un second rayon fixe OL, dont les équations sont

(36) $$\begin{cases} A x + B''_2 y + B'_1 z = 0, \\ B''_1 x + A' y + B_2 z = 0, \end{cases}$$

ou bien

(36') $$\frac{x}{B''_2 B_2 - A' B'_1} = \frac{y}{B'_1 B''_1 - A B_2} = \frac{z}{A A' - B''_1 B''_2},$$

ou encore

$$\frac{x}{\mathcal{K}} = \frac{y}{\mathcal{K}'} = \frac{z}{\mathcal{K}''},$$

en faisant

(37) $$B''_2 B_2 - A' B'_1 = \mathcal{K}, \quad B'_1 B''_1 - A B_2 = \mathcal{K}', \quad A A' - B''_1 B''_2 = \mathcal{K}''.$$

Nous appellerons *antirayon* ce corrélatif ou cet opposé $OL_1$ du rayon donné OL. Leur plan $LOL_1$ ou $zOL_1$, fixe comme eux évidemment, a dans l'espace une orientation que les équations précédentes déterminent, sans doute, mais qui, vu son importance, mérite de faire l'objet d'une recherche spéciale et directe.

A cet effet, exprimons que le cône général $C_i$ ou (22) devient évanouissant. Il suffit pour cela d'annuler son discriminant $\Delta_i$, ce qui revient à écrire

(38) $$\Delta_i = \Delta_1 \sin i + \Delta_2 \cos i = 0,$$

en désignant (à une constante près) par $\Delta_1$ et $\Delta_2$ les discriminants relatifs aux cônes-limites $C_1$ et $C_2$. On en déduit, sous forme abrégée :

$$(38') \qquad \operatorname{tg} i = -\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = -\frac{B'_1\mathcal{K}' - B_2\mathcal{K}}{B'_1\mathcal{K}' + B_2\mathcal{K}},$$

et si l'on fait $\frac{\mathcal{K}'}{\mathcal{K}} = \operatorname{tg} \alpha$, il viendra, d'après (15) et (20) :

$$(38'') \qquad \operatorname{tg} i = -\cot(a_1 - \alpha_1) = \operatorname{tg}(a_2 - \alpha_2),$$

d'où :

$$i = (a_1 - \alpha) \pm \frac{\pi}{2} = a_2 - \alpha.$$

Ce résultat, rapproché de la première des équations (23), fait voir que l'angle $i$ n'est autre que l'azimut du plan tangent moyen $P_i$ pour lequel l'obliquité $i$ comptée dans le sens direct à partir du plan $P_2$ est égale à $\alpha$.

Pour avoir les deux plans dans lesquels se décompose nécessairement le cône $C_i$ quand la condition $\Delta_i = 0$ est vérifiée, il n'y a qu'à substituer dans l'équation (22) la valeur (38') et l'on trouve

$$(39) \begin{cases} (B'_1 B''_1 - AB_2)x - (B''_2 B_2 - A' B'_1)y = 0, \\ [2B''B_2 + (A - A')B'_1]x + [2B'_1 B'' - (A - A')B_2]y + (B_2^2 + B'^2_1)z = 0, \end{cases}$$

eu égard à la condition (19) ou $B''_1 + B''_2 = 2B''$.

On pourrait écrire plus simplement ainsi :

$$(39') \qquad \begin{cases} \frac{y}{x} = \frac{\mathcal{K}'}{\mathcal{K}} = \operatorname{tg} \alpha. \\ \mathcal{L}x + \mathcal{L}'y + \mathcal{L}''z = 0. \end{cases}$$

Le premier de ces plans, dont l'azimut est $\alpha$, n'est autre que le plan cherché $LOL_1$. Comme il est le seul des deux qui (à un cas d'exception près) contienne le rayon donné $OL$, c'est lui que nous nommons le *plan de polarisation* de ce dernier rayon. Nous le désignerons par $\Pi$, il est formé de deux demi-plans qu'il ne sera pas toujours permis de confondre, vu que l'un contient $OL_1$ et que l'autre n'en contient que le prolongement.

Digitized by Google

Quant au second plan $\Xi$, il sera dit le *connexe* du premier.

Ces plans ainsi associés $\Pi$ et $\Xi$ ne coïncident jamais entre eux, mais ils peuvent être perpendiculaires l'un à l'autre, et le sont en effet lorsqu'on a

$$(40)\quad (AB''_1 + A'B''_2)(B'^2_1 - B^2_2) - [(A^2 - A'^2) - (B''^2_1 - B''^2_2)]B_2B'_1 = 0.$$

Enfin, il est bon d'observer qu'on n'obtient pas un couple de plans distincts du précédent lorsque, à l'équation (22) des cônes $C_i$, on substitue celle des cônes $C_j$, bien que le discriminant $\Delta_j = \Delta_1 \cdot \cos i - \Delta_2 \sin i$ de la seconde équation soit distinct du discriminant $\Delta_i$ de la première.

**12.** *Cas particuliers.* — I. 1° Si l'on exprime que le plan $\Xi$ contient l'antirayon $OL_1$, on trouvera (en levant une indétermination qui n'est qu'apparente) que le fait a lieu quand $OL_1$ est dans le plan des $\mathbf{xy}$. Le couple des plans $\Pi$ et $\Xi$ devient alors

$$(41)\quad \begin{cases} \dfrac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\dfrac{B''_1}{A'} = -\dfrac{A}{B''_2}, \\ B'_1B''_1\mathbf{x} + B''_2B_2\mathbf{y} + B_2B'_1\mathbf{z} = 0. \end{cases}$$

Leur trace horizontale *commune* n'est autre que $OL_1$ et l'on remarque, au surplus, que l'expression (38') se réduit ici à $\operatorname{tg} i = \dfrac{A + A'}{B''_2 - B''_1}$.

2° Considérons le cas où l'on a $\Delta_1 = 0$ et, conséquemment, $i = \dfrac{\pi}{2}$. — Les plans (39) peuvent alors, après réductions, se mettre (15) sous la forme

$$(42)\quad \begin{cases} \dfrac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\dfrac{B'_1}{B_2} = \operatorname{tg} a_1, \\ AB_2\mathbf{x} + A'B'_1\mathbf{y} + B_2B'_1\mathbf{z} = 0. \end{cases}$$

On vérifie sans peine que ce sont là les deux plans $P_1$ et $Q_1$ dans lesquels se décompose actuellement le cône $C_1$.

Si $B_2 = 0$, on obtient les plans coordonnés $\mathbf{x} = 0$, $\mathbf{y} = 0$,

Digitized by Google

lesquels se reproduisent encore, mais dans un ordre inverse, lorsqu'on a $B'_1 = 0$.

3° Supposons que l'on ait $\Delta_2 = 0$ et, par suite, $i = 0$. — Les plans (39) deviendront

$$(43)\qquad \begin{cases} \dfrac{y}{x} = \dfrac{B_2}{B'_1} = \operatorname{tg} a_2, \\ B'_1 B''_1 x + B''_2 B_2 y + B_2 B'_1 z = 0, \end{cases}$$

résultat indépendant de A et de A′, tout comme le précédent l'était de $B''_1$ et de $B''_2$. On vérifie, ici encore, que ce sont bien là les plans $P_2$ et $Q_2$ dans lesquels le cône $C_2$ doit se décomposer *a priori*.

Si $B_2$ ou $B'_1$ deviennent nuls, on retrouve les plans coordonnés. Il est remarquable que le second plan du système (43) coïncide avec le second plan du système (41).

II. Les résultats obtenus jusqu'ici sont tout à fait généraux, en ce qu'ils supposent que les pseudo-surfaces coordonnées sont quelconques. Ils se rapportent directement à la surface normo-directive $\Sigma_{n_0}$.

Quand les pseudo-surfaces deviennent minima et que la surface $\Sigma_{n_0}$ se transforme en la surface de l'onde $\Sigma_o$, on a les conditions connues

$$B_2 = B, \qquad B''_1 = B', \qquad B''_1 = B''_2 = B''.$$

On en conclut pour les équations correspondantes de l'anti-rayon

$$(44)\qquad \frac{x}{B''B - A'B'} = \frac{y}{B'B'' - AB} = \frac{z}{AA' - B''^2},$$

et pour celle du plan de polarisation $\Pi$,

$$(45)\qquad (B'B'' - AB)x - (B''B - A'B')y = 0.$$

Arrêtons-nous principalement à cette dernière.

1° Les plans (36) se confondant ici avec les plans diamétraux $\varphi'_x = 0$ et $\varphi'_y = 0$, conjugués des cordes parallèles à $Ox$

Digitized by Google

et à $Oy$ dans le cône $\Gamma$ ou (13), il en résulte que l'anti-rayon $OL_1$ coïncide avec leur intersection et devient ainsi le *diamètre,* lieu des centres des sections horizontales du cône asymptote $\Gamma$ et de la quadrique qui lui correspond, d'où :

RÈGLE. — *Étant donnée la surface absolue de l'onde* $\Sigma_0$, *on obtient le plan de polarisation (géométrique)* $\Pi$ *de l'un quelconque de ses rayons, en menant le plan qui passe par ce rayon et par le diamètre, lieu des centres des sections faites dans la quadrique génératrice de la surface de l'onde perpendiculairement au rayon proposé.*

2° Si l'on considère la section produite dans la quadrique génératrice Q par le plan des $xy$, savoir :

$$Ax^2 + 2B'xy + A'y^2 = 1,$$

on vérifie aisément que les plans $\Pi$ et P, dont les traces horizontales ont pour coefficients angulaires respectifs $\mu = \frac{\mathcal{K}'}{\mathcal{K}}$ et $\mu_1 = -\frac{B'}{B}$ sont deux plans diamétraux *conjugués* dans le cylindre droit qui a même équation que la conique précédente.

3° En substituant à A, A', B', ... leurs valeurs respectives (n° 4), on trouve que l'équation (45) du plan $\Pi$ revient à

$$[\Sigma G\alpha'\alpha'' + \Sigma K'(\gamma'\beta'' + \beta'\gamma'')]x - [\Sigma G'\alpha''\alpha + \Sigma K'(\beta''\gamma + \gamma''\beta)]y = 0;$$

d'où l'on voit que ses coefficients sont, par rapport au cône asymptote supplémentaire $\Gamma'$, ce que les coefficients *correspondants* B' et B sont par rapport au cône $\Gamma$ lui-même.

III. Lorsque $A = -A'$, les plans $\Pi$ et $\Xi$ deviennent

$$(39') \begin{cases} (B'B'' - AB)x - (B''B + AB')y = 0, \\ (B''B + AB')x + (B'B'' - AB)y + \frac{1}{2}(B^2 + B'^2)z = 0, \end{cases}$$

ce qui met bien leur orthogonalité, nécessaire d'ailleurs (40), en évidence.

On constate, au surplus, qu'indépendamment de la propriété signalée plus haut, les plans $\Pi$ et $P_1$ sont des plans diamétraux

Digitized by Google

*normo-conjugués* dans le cylindre droit à base indicatrice minima

$$B'x^2 - 2Axy - B'y^2 = -1.$$

IV. — Revenons un instant au cas le plus général (36). — Si l'on cherche l'équation des divers cônes *polaires* ou *supplémentaires* de Malus relatifs à Oz, on trouvera pour la première série $C'_i$, d'abord :

$$(46)\quad \left\{ \begin{array}{l} [(B_1 \sin i + B'_1 \cos i)x - (B'_1 \sin i - B_1 \cos i)y]^2 \\ \qquad - (2\mathfrak{D}_i x + 2\mathfrak{E}_i y + \mathfrak{F}_i z)z = 0, \end{array} \right.$$

équation dans laquelle $\mathfrak{D}_i$, $\mathfrak{E}_i$, $\mathfrak{F}_i$ désignent des trinômes du second degré homogènes en $\sin i$ et $\cos i$. De sa forme il suit que tous ces cônes sont tangents au plan des $xy$ et à un deuxième plan variable et qu'ils admettent comme plans diamétraux conjugués de leurs cordes horizontales les plans tangents $P_j$ des cônes $C_j$.

Dans le cas particulier où les pseudo-surfaces étant minima, on a, en outre, comme ci-dessus : $A = -A'$, l'équation (46) devient

$$(46')\quad \left\{ \begin{array}{l} \qquad [(B \sin i + B' \cos i)x - (B' \sin i - B \cos i)y]^2 \\ - 4[(B'B + AB')x + (B'B' - AB)y - (A^2 + B'^2)z]z = 0. \end{array} \right.$$

La première série des cônes polaires qui nous occupe a donc présentement tous ses cônes tangents à *deux plans fixes,* qui sont le plan des $xy$ et le plan mené par l'origine perpendiculairement à l'antirayon dont les équations actuelles sont

$$\frac{x}{B'B + AB'} = \frac{y}{B'B' - AB} = \frac{z}{A^2 + B'^2}.$$

Quant à la deuxième série $C'_j$, elle admet, par réciprocité, comme plans diamétraux conjugués de ses cordes horizontales les plans tangents $P_i$ des cônes $C_i$. — Son équation renferme les fonctions nouvelles $\mathfrak{D}_j$, $\mathfrak{E}_j$, $\mathfrak{F}_j$ qu'on peut, du reste, déduire immédiatement des premières par la transformation que l'on sait.

---

Digitized by Google

# V

## Étude spéciale du plan de polarisation du rayon réfléchi médian. — Détermination de deux constantes optiques.

**13.** Ce plan nous est donné par l'équation (45), où l'on aura préalablement substitué les valeurs (30) ci-dessus. On trouve

$$(47)\quad \begin{cases} (f-g')\,[\mathfrak{M}\sin I + \sqrt{2}\,(h'-\mathfrak{N})\cos I]\,\mathbf{x} \\ \qquad + [\mathfrak{M}\,h'\sqrt{2} + (f-g')^2\sin I\cos I]\,\mathbf{y} = 0. \end{cases}$$

Afin de simplifier l'expression, nous poserons

$$(48)\qquad m = \frac{h'\sqrt{2}}{f+g'}, \qquad \delta = \frac{f-g'}{f+g'} = \operatorname{tg}\left(A_2 - \frac{\pi}{4}\right),$$

ce qui entraîne, il est bon de le remarquer, pour les fonctions $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{N}$ (29), les nouvelles formes suivantes :

$$(29')\quad \begin{cases} \mathfrak{M} = (f+g')\,(\sin^2 I - m\sin I\cos I - \cos^2 I), \\ \mathfrak{N} = h'\left(\sin^2 I - \dfrac{2}{m}\sin I\cos I + 2\cos^2 I\right). \end{cases}$$

Dans le premier de ces *paramètres médians*, on reconnaît (III, n° 22) la différence $n - \frac{1}{n} = m$ entre l'indice brœwstérien et son inverse, différence qui a déjà fait l'objet d'une étude sérieuse de notre part et que nous avons qualifiée de *module* de la substance uniréfringente considérée.

Quant au second $\delta$, nous le nommerons le coefficient de *déviation médiane* de cette même substance, l'angle $A_2$ n'étant autre d'ailleurs que l'azimut du plan tangent $P_2$ relatif à l'inci-

Digitized by Google

dence normale OZ (et non plus Oz) et compté à partir de l'axe des X primitif.

En introduisant ces nouveaux paramètres dans l'équation (47), elle devient

$$(47') \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta\,(\sin I - m \cos I)x \\ + [m \sin^2 I - (m^2 - \delta^2) \sin I \cos I - m \cos^2 I]y = 0. \end{array} \right.$$

Quant à l'antirayon $OL_1$ qui peut être employé conjointement avec OL pour fixer l'orientation du plan $\Pi$, les notations précédentes permettent d'écrire ses équations comme il suit :

$$(44') \quad \frac{x}{m\,tg^2 I - (m^2 - \delta^2)\,tg\,I - m} = \frac{y \cos I}{\delta\,(m - tg\,I)} = \frac{z}{\delta^2\,tg^2 I - 2m\,tg\,I + m^2}.$$

Pour n'avoir pas à y revenir, nous ferons observer ici que si l'on fait dans ce système

$$x = X' \cos I - Z' \sin I,$$
$$z = X' \sin I + Z' \cos I,$$

avec $y = Y'$, et qu'on en élimine ensuite I, on obtiendra, comme lieu géométrique de $OL_1$ rapporté au trièdre *médian* $OX'Y'Z'$, un cône qui est, en général, du quatrième degré, mais qui, dans le cas de $g' = 0$ ou de $f = 0$, c'est-à-dire de $\delta = \pm 1$, se réduit à

$$X'^2 - Y'^2 + (mY' \pm Z')^2 = 0.$$

**14.** ***Interprétation géométrique des coefficients du plan*** $\Pi$. L'équation (47′) du plan $\Pi$ pouvant s'écrire

$$(49) \qquad \frac{y}{x} = tg\,\alpha = \frac{\delta(m - tg\,I)\sqrt{1 + tg^2 I}}{m\,tg^2 I - (m^2 - \delta^2)\,tg\,I - m},$$

il y a lieu de se demander à quelles incidences correspondent géométriquement les valeurs de I qui annulent ses deux termes.

1° En ce qui concerne, tout d'abord, le dénominateur, rappelons (III, n° 2) que le cône asymptote $\Gamma$ de la surface $\Sigma_1'$

Digitized by Google

rapporté au trièdre mobile OXYZ a pour équation

$$(a) \quad f^2X^2 + g'^2Y^2 + h'^2Z^2 - 2g'h'YZ - 2h'fZX - 2fg'XY = 0$$

et n'est autre, par conséquent, que le *supplémentaire* du cône asymptote Γ ou

$$(b) \qquad 2fYZ + 2g'ZX + 2h'XY = 0,$$

de l'hyperboloïde générateur de cette même surface $\Sigma'_1$.

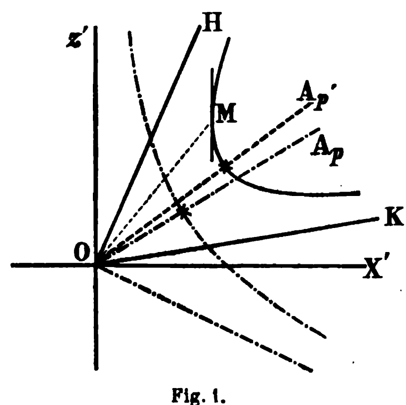



Fig. 1.

Cela étant, si, dans les formules (25), on pose $I = 0$ et qu'on porte les valeurs réduites ainsi obtenues dans l'équation (*a*), le cône Γ' se trouvera rapporté au trièdre médian OX'Y'Z'; faisant ensuite $Y' = 0$, on obtiendra pour section médiane de Γ' les deux génératrices OH, OK représentées par l'équation quadratique

$$(c) \qquad (f-g')^2X'^2 - 2\sqrt{2}h'(f+g')Z'X' + 2h'^2Z'^2 = 0,$$

laquelle, après qu'on aura mis en coïncidence le trièdre azimutal $O\mathbf{xyz}$ avec le trièdre OX'Y'Z', pourra s'écrire, eu égard à (48) :

$$(c') \qquad \partial^2\mathbf{x}^2 - 2m\mathbf{zx} + m^2\mathbf{z}^2 = 0,$$

et nous fournit de la sorte, incidemment (si l'on y pose $\frac{\mathbf{x}}{\mathbf{z}} = \text{tg}\, I$) l'interprétation géométrique du dernier des dénominateurs des équations (44') de $OL_1$.

Digitized by Google

En résolvant les deux équations précédentes, il vient [1]

$$(c') \qquad \frac{X'}{Z'} = \frac{h'\sqrt{2}}{(\sqrt{f} \pm \sqrt{g'})^2} \quad \text{ou} \quad \frac{x}{z} = \frac{\sqrt{2}}{(\sqrt{k} \pm \sqrt{k'})^2},$$

les quantités K et K′ désignant, par anticipation, les rapports $\frac{f}{h'}$ et $\frac{g'}{h'}$.

Ajoutons que, de la forme ($c'$), notamment, on tire comme condition de réalité de nos génératrices : $-1 < \delta < 1$, avec cette particularité que, pour ces valeurs-limites, le cône $\Gamma'$ se réduit à un *plan double*.

Ceci posé, formons l'équation des bissectrices ou des axes de figures des génératrices ($c'$) ; on trouvera

$$(d) \qquad m x^2 - (m^2 - \delta^2) z x - m z^2 = 0.$$

Or, si l'on y fait $\frac{x}{z} = \operatorname{tg} I$, on obtient exactement le dénominateur de (49), dont l'interprétation géométrique devient dès lors évidente.

En particulier, lorsque $\delta = 0$, l'équation ($d$) se réduisant à

$$(e) \qquad x^2 - m z x - z^2 = 0,$$

ou bien à

$$(e') \qquad \operatorname{tg}^2 I - m \operatorname{tg} I - 1 = 0,$$

nous fait retomber sur l'axe de *polarisation maximum* $OA_p$ et sur son conjugué $OB_p$ (III, n° 22).

Il s'ensuit que si l'on désigne par $\operatorname{tg} I_{p'}$ et $-\cot I_{p'}$, les racines (réciproques) de ($d$) pour les distinguer des racines $\operatorname{tg} I_p$ et $-\cot I_p$ de ($e$) et que, par analogie avec l'indice brœwstérien $n = \operatorname{tg} I_p$, on qualifie d'indice *pseudo-brœwstérien* la racine $n' = \operatorname{tg} I_{p'}$, l'équation du plan $\Pi$ relative à l'incidence brœwstérienne $OA_p$ pourra s'écrire

$$\frac{y}{x} = \frac{-\delta\sqrt{1+n^2}}{m(n-n')\left(n + \frac{1}{n'}\right)}.$$

[1] On retrouve ces mêmes génératrices en développant la condition $AA' - B'^2 = 0$. Ceci tient à ce que les sections du cône $\Gamma'$ respectivement perpendiculaires à chacune d'elles sont nécessairement des *paraboles*.

Digitized by Google

2° Pour interpréter l'incidence $I_\mu$ qui annule le numérateur de (49), il suffit d'observer que si l'on égale à zéro la dérivée par rapport à z de l'équation ($c'$), il vient précisément $\operatorname{tg} I = m$. Pour obtenir $I_\mu$, il n'y a donc qu'à mener le rayon vecteur du point de contact de la tangente verticale de l'hyperbole médiane de section de la quadrique *focale :*

$$f^2X^2 + g'^2Y^2 + h'^2Z^2 - 2g'h'YZ - 2h'fZX - 2fg'XY + 1 = 0.$$

Plus simplement encore, on remarquera que, de

$$\operatorname{tg} I_\mu = m = \cot J_l,$$

on tire

$$I_\mu = \frac{\pi}{2} - J_l,$$

en désignant par $J_l$ l'angle-limite, angle connu, on le sait, qui fournira $I_\mu$ par son complément.

**15.** *Discussion de l'équation du plan* Π. — Comme conséquence des considérations géométriques qui précèdent, l'équation (49) peut aussi s'écrire

$$(49')\qquad \frac{y}{x} = \operatorname{tg}\alpha = \frac{-\delta(\operatorname{tg} I - \operatorname{tg} I_\mu)\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 I}}{m(\operatorname{tg} I - \operatorname{tg} I_{p'})(\operatorname{tg} I + \cot I_{p'})}.$$

($\alpha$). Sous cette forme, on voit que pendant que I prend les valeurs croissantes 0, $I_\mu$, $I_{p'}$, $\frac{\pi}{2}$, le coefficient angulaire tg $\alpha$ prend les valeurs correspondantes, $-\delta$, 0, $\pm\infty$, $-\frac{\delta}{m}$; d'où l'on conclut que si $\delta$ est *très petit*, le plan Π reste très voisin du plan d'incidence ou de profil $y = 0$, sauf dans le voisinage de la valeur $I_p'$ près de laquelle Π tourne très rapidement, avec son azimut $\alpha$, de 180°, de manière à prendre après son ***retournement*** et, sous l'incidence rasante, une position en général peu différente de celle qu'il avait sous l'incidence normale. Ce serait, du reste, la même exactement, si la surface réfléchissante était telle que l'on eût $m = 1$, ou $n = 1,6180$.



Digitized by Google

($\beta$). Pour $\delta = 0$ ou lorsque $f' = g'$, le plan $\Pi$ se confond avec le plan d'incidence $\mathbf{y} = 0$.

($\gamma$). Pour $\delta = \pm\infty$ ou lorsque $f = -g'$, on a aussi, par voie de conséquence, $m = \infty$; mais le rapport $\frac{m}{\delta}$ reste fini et égal à $-\frac{h'}{f\sqrt{2}}$, ce qui, au signe près, est la valeur que prend $m$ quand $\delta = 0$. Divisant tout par $m\delta$, on trouve à la limite (le facteur cos I supprimé):

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \frac{m}{(m^2 - 1)\sin I}.$$

Si $m = 1$, le plan $\Pi$ se confond avec le plan perpendiculaire au plan d'incidence, c'est-à-dire avec le plan de front $\mathbf{x} = 0$.

($\delta$). Supposons maintenant que l'on ait $\delta = \pm 1$ et, pour préciser, choisissons la première de ces valeurs-limites (n° 14). C'est le cas où l'hyperboloïde générateur (III, n° 8) se transforme en un cylindre hyperbolique et où l'on a, par hypothèse, $g' = 0$, $m = \frac{h'\sqrt{2}}{f}$.

D'autre part, en faisant $\delta = 1$ dans (49) ou dans (49'), on constate que, soit le binôme tg I — $m$, soit le binôme tg I — tg $I_\nu$ (car, actuellement, $I_\mu = I_\nu$) se met en facteur haut et bas. Pour cette incidence particulière, le plan $\Pi$ prend une indétermination apparente, mais a, en réalité, pour équation $\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\cos I_\nu$. — Généralement, on a alors:

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} \operatorname{tg} \alpha = -\frac{1}{m \sin I + \cos I}.$$

($\varepsilon$). Faisons $h' = 0$. — L'équation (47') revient, dans ce cas, à

$$\mathbf{x} + \delta \cos I . \mathbf{y} = 0,$$

ce qui, pour $\delta = 0$, nous ramène au plan de front $\mathbf{x} = 0$, c'est-à-dire au plan perpendiculaire au plan d'incidence. — En dehors de ce cas particulier, du reste, l'hypothèse actuelle de $h' = 0$ fait du rayon réfléchi S' le symétrique *exclusif* du

Digitized by Google

rayon incident, et non plus le conjugué-hyperbolique du rayon R'.

($\zeta$). Pour que les plans $\Pi$ et $\Xi$ coïncident respectivement, soit avec $P_1$, $Q_1$, soit avec $P_2$, $Q_2$ (n° 12), il faut et il suffit que l'on ait $\Delta_1 = 0$ ou $\Delta_2 = 0$. Ce sont là deux équations en tg I, la première du quatrième degré, la seconde du troisième seulement et dont les coefficients sont des fonctions très simples des paramètres médians $m$ et $\delta$.

**16.** *Cas du rayon conjugué-hyperbolique ou ordinaire.* — Tout ce que nous avons dit jusqu'ici est applicable au rayon conjugué R' correspondant au rayon réfléchi S' dans le plan d'incidence $y = 0$. Il suffit en effet de remplacer partout I par J ou, si l'on tient à conserver I pour variable, d'avoir égard à la relation $\cot J = m - \cot I$, à condition de compter J lui aussi à partir de la normale O$z$ et non pas de son prolongement. On a, de la sorte, tout d'abord,

$$(50) \qquad \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \alpha' = \frac{\delta(1 - m \cot J)\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 I}}{m \cot^2 J + (m^2 - \delta^2)\cot J - m},$$

puis, finalement,

$$(50') \qquad \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \alpha' = \frac{\delta(1 - m^2 + m \cot I)\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 I}}{m \cot^2 I - (3m^2 - \delta^2)\cot I + m(2m^2 - \delta - 1)}.$$

On peut remarquer, à propos de cette dernière formule, que, lorsque $\delta = \pm 1$, le trinôme $(1 - m^2 + m \cot I)$ est commun haut et bas, ce qui constitue sous l'incidence $\cot I = m - \frac{1}{m}$, un cas de *dépolarisation apparente* pour le rayon R'.

**17.** *Détermination de deux constantes optiques.* — Admettons que l'incidence pseudo-brœwstérienne $I_{p'}$ (n° 14) soit susceptible d'être observée comme l'incidence brœwstérienne elle-même $I_p$; on aura tout ce qu'il faut pour calculer les constantes $\frac{f}{h^2} = k$ et $\frac{g'}{h^2} = k'$, déjà introduites au numéro cité.

Digitized by Google

Remarquons en effet que, de même que de l'identité brœwstérienne

$$n^2 - mn - 1 = 0,$$

on tire $m = n - \frac{1}{n}$; ainsi, de l'identité pseudo-brœwstérienne

$$n'^2 - \left(m - \frac{\delta^2}{m}\right) n' - 1 = 0$$

on tire

$$\delta^2 = m^2 - m\left(n' - \frac{1}{n'}\right).$$

D'autre part, d'après (48), on a

$$(51) \qquad m = \frac{h' \sqrt{2}}{f + g'} = \frac{\sqrt{2}}{k + k'}, \qquad \delta = \frac{f - g'}{f + g'} = \frac{k - k'}{k + k'};$$

il vient donc pour les constantes cherchées

$$(52) \qquad k = \frac{1 + \delta}{m\sqrt{2}}, \qquad k' = \frac{1 - \delta}{m\sqrt{2}};$$

et puisque $m$ et $\delta$ sont exprimables en fonction de $n$ et de $n'$, c'est-à-dire des angles $I_p$ et $I_{p'}$, susceptibles, par hypothèse, d'observation tous les deux, il en est, par conséquent, de même pour $k$ et $k'$.

**18.** Donnons, en terminant, l'interprétation géométrique de ces constantes.

A cet effet, introduisons-les dans l'équation du cône $\Gamma'$ (n° 14); celle-ci deviendra

$$(53) \qquad k^2 X^2 + k'^2 Y^2 + Z^2 - 2k' YZ - 2kZX - 2kk' XY = 0.$$

$k$ et $k'$ ne sont donc autres que les inverses des coefficients angulaires des génératrices de contact

$$kX - Z = 0, \qquad k'Y - Z = 0,$$

du cône $\Gamma'$ avec les plans respectifs des ZX et des YZ.

Digitized by Google

# VI

## Variation du plan de polarisation d'un rayon azimutal quelconque.

—

**19.** Les relations (25) et (26) ne peuvent suffire au cas où la substance réfléchissante n'est pas homogène, non plus qu'à celui où, quelle que soit cette substance, la réflexion, au lieu d'être spéculaire, est diffuse. Il nous faut fixer autrement la position du trièdre azimutal $O\mathbf{xyz}$, dont le rayon donné $OL_\varphi$ sera toujours supposé, du reste, constituer l'axe des $\mathbf{z}$; aussi adopterons-nous pour nouveaux cosinus directeurs les valeurs suivantes :

$$(54)\ \begin{cases} \alpha = \cos\varphi\cos I, & \alpha' = -\sin\varphi, & \alpha'' = \lambda = \cos\varphi\sin I, \\ \beta = \sin\varphi\cos I, & \beta' = \cos\varphi, & \beta'' = \mu = \sin\varphi\sin I, \\ \gamma = -\sin I, & \gamma' = 0, & \gamma'' = \nu = \cos I. \end{cases}$$

L'angle $\varphi$, de même signification absolument que dans notre précédent Mémoire, est ce qu'on pourrait nommer le *normo-azimut* du plan $\mathbf{y} = 0$, compté qu'est cet angle, à partir de OX, sur le plan *horizontal* des XY relatif au trièdre OXYZ.

Quoi qu'il en soit, du système précédent on tire (12)

$$(55)\ \begin{cases} X = \mathbf{x}\cos\varphi\cos I - \mathbf{y}\sin\varphi + \mathbf{z}\cos\varphi\sin I, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

En portant ces dernières valeurs dans l'équation (*b*) du cône asymptote (nº 14), il vient pour la transformée correspondante

$$A\mathbf{x}^2 + A'\mathbf{y}^2 + A''\mathbf{z}^2 + 2B\mathbf{yz} + 2B'\mathbf{zx} + 2B''\mathbf{xy} = 0,$$

aux coefficients de laquelle il sera utile de nous arrêter un instant.

Digitized by Google

Afin de simplifier leur expression, nous poserons

$$(56)\quad \left\{\begin{aligned} m_\varphi &= \frac{h' \sin 2\varphi}{f\sin\varphi + g'\cos\varphi} = \frac{\sin 2\varphi}{k\sin\varphi + k'\cos\varphi}, \\ \delta_\varphi &= \frac{f\cos\varphi - g'\sin\varphi}{f\sin\varphi + g'\cos\varphi} = \frac{k\cos\varphi - k'\sin\varphi}{k\sin\varphi + k'\cos\varphi}. \end{aligned}\right.$$

Ce sont là deux paramètres *azimutaux*, reproduisant d'ailleurs les paramètres médians $m$ et $\delta$, lorsqu'on y fait $\varphi = \frac{\pi}{4}$. Pour les distinguer, nous désignerons le premier, à nouveau (IV, n° 4), sous le nom de *module azimutal*, et le second sous celui de coefficient de *déviation azimutale* de la substance considérée.

Nous ferons en outre

$$(57)\quad m'_\varphi = \frac{h' \cos 2\varphi}{f\sin\varphi + g'\cos\varphi} = \frac{\cos 2\varphi}{k\sin\varphi + k'\cos\varphi},$$

troisième paramètre, analogue au premier $m_\varphi$, et avec lequel il coïncide, par exception, pour $\varphi = \frac{\pi}{8}$, ce qui nous conduit naturellement à le qualifier de *module azimutal semi-complémentaire*.

Ces notations une fois introduites dans la transformée ci-dessus, on remarque que, dans les expressions de A, A'..., le binôme dénominateur se met en facteur pour chacune d'elles. Il sera donc plus simple, dans le cas présent, de substituer à A, A' ... leurs quotients $\mathcal{A}, \mathcal{A}'$ ... par le binôme précédent, de manière à avoir

$$(58)\quad \left\{\begin{aligned} \mathcal{A} &= \sin 2I - m_\varphi \cos^2 I, & \mathcal{B} &= -\delta_\varphi \cos I - m'_\varphi \sin I, \\ \mathcal{A}' &= m_\varphi, & \mathcal{B}' &= -\cos 2I - m_\varphi \sin I \cos I, \\ \mathcal{A}'' &= -\sin 2I - m_\varphi \sin^2 I, & \mathcal{B}'' &= \delta_\varphi \sin I - m'_\varphi \cos I. \end{aligned}\right.$$

Portant ces valeurs dans l'équation (45) mise préalablement sous la forme équivalente

$$(\mathcal{B}'\mathcal{B}'' - \mathcal{A}\mathcal{B})\mathbf{x} - (\mathcal{B}''\mathcal{B} - \mathcal{A}'\mathcal{B}')\mathbf{y} = 0,$$

Digitized by Google

on trouve

$$(59)\quad \frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \operatorname{tg} \alpha_\varphi = \frac{[\delta_\varphi (m_\varphi - \operatorname{tg} I) - m'_\varphi] \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 I}}{(m_\varphi + \delta_\varphi m'_\varphi) \operatorname{tg}^2 I - (m_\varphi^2 + m_\varphi'^2 - \delta_\varphi^2) \operatorname{tg} I - (m_\varphi + \delta_\varphi m'_\varphi)},$$

l'azimut $\alpha_\varphi$ du plan de polarisation $\Pi_\varphi$ étant compté à partir de $O\mathbf{x}$.

Cette formule résout complètement la question.

On peut toutefois lui donner une forme nouvelle et souvent utile en y remplaçant $\varphi$ par $\varphi' + \frac{\pi}{4}$, ce qui revient à substituer au normo-azimut $\varphi$ compté à partir de $OX$ le normo-azimut $\varphi'$ compté à partir de la bissectrice $X = Y$.

**20.** *Cas particuliers.* — 1° Lorsque $I = 0$, il vient

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \operatorname{tg} \alpha_\varphi = \frac{m'_\varphi - \delta_\varphi m_\varphi}{m_\varphi + \delta_\varphi m'_\varphi} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - A_2 - \varphi\right),$$

d'où $\alpha_\varphi = \frac{\pi}{2} - A_2 - \varphi$, l'angle $A_2$ ayant même signification que dans la seconde des formules (48) et $\delta_\varphi$ étant, par suite, égal à $\operatorname{tg}(A_2 - \varphi)$.

2° Pour $h' = 0$, cas où l'hyperbole azimutale de section est équilatère, on trouve

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\frac{1}{\delta_\varphi \cos I} = -\frac{\cot(A_2 - \varphi)}{\cos I}.$$

3° Soit $\varphi = 0$, ce qui fait coïncider les plans $\mathbf{y} = 0$ et $Y = 0$; on a alors

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\frac{k'(k \operatorname{tg} I + 1) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 I}}{(k \operatorname{tg} I - 1)(\operatorname{tg} I + k)}.$$

Le cas de $\varphi = \frac{\pi}{2}$ pour lequel les plans $\mathbf{y} = 0$ et $X = 0$ se confondent, se déduit du précédent en permutant $k$ et $k'$ et changeant le signe du second membre.

4° Soit maintenant $\delta_\varphi = 0$, hypothèse qui revient à $\operatorname{tg}\varphi = \frac{f}{g'}$ ou, plus simplement, à $\varphi = A_2$, et suppose $OL_\varphi$ ou $O\mathbf{z}$ dans le

Digitized by Google

plan tangent $P_2$ relatif à la normale OZ. L'équation (59) devient alors

$$\frac{y}{x} + \frac{(k^2 - k'^2)\sqrt{1 + \mathrm{tg}^2 I}}{2kk' \,\mathrm{tg}^2 I - \sqrt{k^2 + k'^2}\,\mathrm{tg}\, I - 2kk'},$$

ce qui, pour $k = k'$ ou $\delta = 0$, nous ramène au plan de profil ou médian.

Mêmes calculs lorsque $\delta_\varphi = \pm \infty$, c'est-à-dire lorsque $\varphi = A_2 - \frac{\pi}{2}$ ou que $OL_\varphi$ appartient au plan tangent $P_1$ relatif à OZ.

---

## VII

### Méthodes diverses pour déterminer les trois axes principaux de polarisation relatifs à un centre donné d'ébranlement.

**21**. Nous avons démontré (3e Mémoire) que les axes de figure de la surface absolue de l'onde, ou les axes principaux de polarisation relatifs à tout centre d'ébranlement ***soumis aux conditions minima***, sont trois directions privilégiées suivant lesquelles la variété tout entière des cônes de Malus s'évanouit.

Il résulte de ce théorème que, pour obtenir ces directions, il suffit d'exprimer que le plan tangent conduit suivant l'une quelconque d'entre elles, considérée comme arête de contact du cône de Malus ou de son orthogonal, est indéterminé.

Nous limiterons le calcul au cas où les pseudo-surfaces coordonnées se sont transformées en surfaces minima, ce qui nous permettra de faire de la question actuelle une application, voire un complément de la précédente.

I. Soit OL ou $OL_\varphi$ un rayon azimutal quelconque. Des for-

Digitized by Google

mules (58) on tire pour l'équation du plan tangent $P_{1,\varphi}$ au cône de Malus qui lui correspond :

$$(f) \qquad \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \alpha_{1,\varphi} = -\frac{\mathfrak{B}'}{\mathfrak{B}} = -\frac{\cos 2I + \frac{m_\varphi}{2} \sin 2I}{\delta_\varphi \cos I + m'_\varphi \sin I}.$$

Égalons à zéro les deux termes de cette fraction à dessein d'exprimer que le plan $P_{1,\varphi}$ est indéterminé. Entre les inconnues $\varphi$ et I, nous aurons les deux équations

$$(g) \qquad \operatorname{tg} 2I = -\frac{2}{m_\varphi}, \quad \operatorname{tg} I = -\frac{\delta_\varphi}{m'_\varphi}.$$

Éliminant I, on trouve pour l'*équation aux normo-azimuts* (ou *azimuts* simplement) des axes de polarisation cherchés :

$$(h) \quad \begin{cases} f(h'^2 - g'^2) \operatorname{tg}^3 \varphi - g'(h'^2 + g'^2 - 2f^2) \operatorname{tg}^2 \varphi \\ \qquad - f(h'^2 + f^2 - 2g'^2) \operatorname{tg} \varphi + g'(h'^2 - f^2) = 0. \end{cases}$$

Quand $f = g'$, cette équation se réduit à

$$(h') \qquad (h'^2 - f^2)(\operatorname{tg} \varphi - 1)^2 (\operatorname{tg} \varphi + 1) = 0,$$

et si l'on associe tour à tour ses deux derniers facteurs avec (*g*), on obtient pour la seconde coordonnée I des trois axes principaux correspondants au cas actuel

$$I = \frac{\pi}{2}, \qquad \operatorname{tg}^2 I - \frac{h'}{f\sqrt{2}} \operatorname{tg} I - 1 = 0,$$

résultat identique à celui que nous a fourni jadis le calcul direct de ces axes (III, n° 6).

Revenant au cas général de $f \gtrless g'$, on passera des coordonnées polaires aux coordonnées rectilignes en faisant $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Y}{X}$ et $\operatorname{tg} I = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{Z}$. Par cette substitution, les équations (*g*) deviennent

$$(60) \quad \begin{cases} (X^2 + Y^2 - Z^2)(g'X + fY) - 2h'XYZ = 0, \\ \qquad h'(X^2 - Y^2) - g'YZ + fZX = 0. \end{cases}$$

Digitized by Google

Elles représentent deux cônes, l'un du troisième degré, l'autre du second, ayant pour sommet commun l'origine, cônes remarquables, mais sur lesquels nous n'avons pas à insister ici, vu que les méthodes qui suivent nous les redonneront séparément.

II. Dans le Mémoire cité plus haut, l'équation du plan tangent $P_1$ au cône de Malus, relatif à une direction quelconque de l'espace et rapporté, non plus au trièdre azimutal $Oxyz$, mais au trièdre mobile OXYZ (III, n° 13), revient à

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg} A_1 = -\frac{(\mu^2 + \nu^2 - \lambda^2)(h'\mu + g'\nu) - 2f\lambda\mu\nu}{(\nu^2 + \lambda^2 - \mu^2)(f\nu + h'\lambda) - 2g'\lambda\mu\nu}.$$

Cela étant, égaler à zéro, comme dans la première méthode, les deux termes de ce nouveau rapport équivaut à poser

$$(61) \qquad \begin{cases} (Y^2 + Z^2 - X^2)(h'Y + g'Z) - 2f\,XYZ = 0, \\ (Z^2 + X^2 - Y^2)(f\,Z + h'X) - 2g'XYZ = 0, \end{cases}$$

système d'équations qui représente deux cônes, de même espèce, évidemment que le premier des cônes (60). Or, l'interprétation géométrique de ce dernier nous est connue (IV, n° 6). C'est le lieu des axes de polarisation maximum azimutaux relatifs à OZ, en tant que normale à la surface réfléchissante. Les deux nouveaux cônes ont donc, vis-à-vis des axes respectifs OX et OY, une signification analogue, et c'est par leurs arêtes communes qu'ils fourniront une deuxième solution du problème.

III. Au plan tangent $P_1$, substituons le plan tangent $P_2$ mené à l'orthogonal du cône de Malus. D'après (III, n° 16), on aura

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg} A_2 = -\frac{f(\mu^2 - \nu^2) - h'\nu\lambda + g'\lambda\mu}{g'(\nu^2 - \lambda^2) - f\lambda\mu + h'\mu\nu}.$$

Or, si l'on égale, ici encore, à zéro les deux termes de ce troisième rapport, il viendra équivalemment :

$$(62) \qquad \begin{cases} f(Y^2 - Z^2) - h'ZX + g'XY = 0, \\ g'(Z^2 - X^2) - f\,XY + h'YZ = 0, \end{cases}$$

Digitized by Google

système qui définit deux cônes du second degré, seulement, lesquels ne sont autres (I, n° 9) que les cônes orthogonaux de Malus relatifs à OX et à OY.

Comme on peut les écrire

$$(62') \qquad \frac{h'Y + g'Z}{X} = \frac{fZ + h'X}{Y} = \frac{g'X + fY}{Z} = S,$$

on en déduit

$$S^3 - (f^2 + g'^2 + h'^2)S - 2fg'h' = 0,$$

ce qui est précisément l'équation en S de l'hyperboloïde générateur de la surface des ondes de première réfraction $\Sigma_1'$ (III, 8).

Cette troisième solution nous ramène donc, par une voie imprévue, à la recherche *classique* des axes principaux d'une quadrique; et c'est bien de là aussi que provient sa simplicité. A ce titre, nous aurions pu, sans doute, nous en tenir à elle; mais les développements géométriques qui la précèdent nous ont semblé tout à fait dignes d'attention.

---

# VIII

## Variation du plan de polarisation du rayon normo-conjugué elliptique ou de seconde réfraction.

**22.** I. — L'angle de première réfraction J' ou, plus pratiquement, l'angle d'incidence I qui lui correspond, étant donné de grandeur et d'orientation, nous avons appris (IV, n° 12) à calculer les coordonnées $\varphi'$ et J' du rayon de seconde réfraction R'; c'est pourquoi nous considérerons, dans ce qui suit, ces dernières quantités comme connues. La surface réfléchissante ou biréfringente du cristal y sera supposée coïncider

Digitized by Google

tour à tour avec le plan des XY, puis, avec celui des ZX, les deux cas nous paraissant d'égale importance et pouvant servir d'ailleurs de vérification l'un à l'autre.

Et d'abord, en ce qui concerne le premier, soit

$$(63) \qquad pX^2 + q'Y^2 + r''Z^2 + 2p''ZX = 0,$$

le cône asymptote Γ de l'ellipsoïde générateur de la surface des ondes de seconde réfraction ou de Fresnel. Si on lui adjoint les conditions

$$(a) \quad \begin{cases} p = \dfrac{\cos^2\theta}{a^2} + \dfrac{\sin^2\theta}{c^2}, \quad q' = \dfrac{1}{b^2}, \quad r'' = \dfrac{\sin^2\theta}{a^2} + \dfrac{\cos^2\theta}{c^2}, \\ p'' = -\left(\dfrac{1}{c^2} - \dfrac{1}{a^2}\right)\sin\theta\cos\theta, \end{cases}$$

le petit axe $c$ de l'ellipse principale située dans le plan des ZX fera, par hypothèse, avec OZ un angle donné θ quelconque.

Cela posé, les formules (54) où l'on aura remplacé, mentalement d'abord, φ, I par φ′, J′, puis, en réalité, ces dernières coordonnées par φ″, J″, les formules (54), dis-je, donnent pour valeur de la transformée du cône (63):

$$(b) \quad \begin{cases} A = (p\cos^2\varphi'' + q'\sin^2\varphi'')\cos^2 J'' + r''\sin^2 J'' - p''\cos\varphi''\sin 2J'', \\ A' = p\sin^2\varphi'' + q'\cos^2\varphi'', \\ A'' = (p\cos^2\varphi'' + q'\sin^2\varphi'')\sin^2 J'' + r''\cos^2 J'' + p''\cos\varphi''\sin 2J'', \\ B = -(p - q')\sin\varphi''\cos\varphi''\sin J'' - p''\sin\varphi''\cos J'', \\ B' = (p\cos^2\varphi'' + q'\sin^2\varphi'' - r'')\sin J''\cos J'' + p''\cos\varphi''\cos 2J'', \\ B'' = -(p - q')\sin\varphi''\cos\varphi''\cos J'' + p''\sin\varphi''\sin J''. \end{cases}$$

Portant ces valeurs dans l'équation

$$(B'B'' - AB)x - (B''B - A'B')y = 0$$

du plan de polarisation Π″ du rayon R″ et faisant, pour abréger,

$$L'' = p(q' - r'') + p''^2, \quad M'' = -q'(r'' - p), \quad N'' = r''(p - q') - p''^2,$$

il vient pour la solution générale du problème:

$$(c) \quad \frac{y}{x} = \operatorname{tg}\alpha'' = \frac{\sin\varphi''(q'p'' + N''\cos\varphi''\operatorname{tg}J'')\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 J''}}{q'p''\cos\varphi''\operatorname{tg}^2 J'' - (L''\sin^2\varphi'' + M''\cos^2\varphi'')\operatorname{tg}J'' - q'p''\cos\varphi''}.$$

Digitized by Google

**23.** Entre autres cas particuliers, nous signalerons les suivants :

($\alpha$). Quand $\varphi' = 0$, le plan $\Pi'$ coïncide avec $\mathbf{y} = 0$, c'est-à-dire avec la section principale du cristal ou le plan de ses axes optiques. On sait d'ailleurs que, quels que soient I et J', le rayon R' ne sort pas de ce plan.

($\beta$). Pour $\theta = 0$, on trouve (après suppression haut et bas du facteur tg J') :

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\frac{(a^2 - b^2)\sin\varphi'\cos\varphi'}{[(b^2 - c^2)\sin^2\varphi' + (a^2 - c^2)\cos^2\varphi']\cos J'},$$

et si $b = c$, il vient $\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\operatorname{tg}\varphi'$; d'où $\alpha' = -\varphi'$.

Le cas de $\theta = \frac{\pi}{2}$ s'en déduit en permutant $a$ et $c$ entre eux.

($\gamma$). Soit $\theta = 45°$ et $b = c$, ce qui, rappelons-le, est très sensiblement vrai pour le spath pris sous ses faces naturelles. Comme on a simultanément, à une constante près,

$$p = r' = a^2 + c^2, \qquad q' = 2a^2, \qquad p' = -(a^2 - c^2),$$

le facteur $(a^2 - c^2)(\cos\varphi' \operatorname{tg} J' + 1)$ devient commun aux deux termes de ($c$) et l'on trouve, en le supprimant,

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = \frac{\sin\varphi'}{\sin J' - \cos\varphi'\cos J'},$$

sous la condition $\cot J'' = -\cos\varphi''$.

($\delta$), Enfin lorsque $\Pi'$ se confond avec le plan tangent au cône de Malus relatif à $O\mathbf{z}$, et qu'on y adjoint $\theta = 0$, l'équation *commune* des deux plans est

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\frac{B'}{B} = \frac{[b^2(a^2 - c^2)\cos^2\varphi' + a^2(b^2 - c^2)\sin^2\varphi']\cos J'}{c^2(a^2 - b^2)\sin\varphi'\cos\varphi'}.$$

Elle ne diffère que par la notation de celle obtenue au moyen de deux changements de plans coordonnés (III, n° 18).

**24.** II. — Dans le second cas que nous avons annoncé, le

Digitized by Google

cône asymptote de l'ellipsoïde générateur doit être pris sous la forme

$$(64) \qquad pX^2 + q'Y^2 + r''Z^2 + 2r'YZ = 0,$$

avec les conditions correspondantes

$$(a') \left\{ \begin{array}{l} p = \frac{1}{a^2}, \quad q' = \frac{\cos^2\theta}{b^2} + \frac{\sin^2\theta}{c^2}, \quad r'' = \frac{\sin^2\theta}{b^2} + \frac{\cos^2\theta}{c^2}, \\ \qquad\qquad r' = -\left(\frac{1}{c^2} - \frac{1}{b^2}\right)\sin\theta\cos\theta. \end{array} \right.$$

De leur côté, les formules de transformation deviennent

$$\begin{array}{lll} \alpha = \cos\varphi'', & \alpha' = \lambda = \sin\varphi''\sin J'', & \alpha'' = \sin\varphi''\cos J'', \\ \beta = 0, & \beta' = \mu = \cos J'', & \beta'' = -\sin J'', \\ \gamma = -\sin\varphi''; & \gamma' = \nu = \cos\varphi''\sin J'', & \gamma'' = \cos\varphi''\cos J''. \end{array}$$

On en déduit (12)

$$X = x\cos\varphi'' + y\sin\varphi''\sin J'' + z\sin\varphi''\cos J'',$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Portant ces valeurs dans (64), on trouve pour les coefficients de la transformée

$$(b') \left\{ \begin{array}{l} A = p\cos^2\varphi'' + r''\sin^2\varphi'', \\ A' = (p\sin^2\varphi'' + r''\cos^2\varphi'')\sin^2 J'' + q'\cos^2 J'' + r'\cos\varphi''\sin 2J'', \\ A'' = (p\sin^2\varphi'' + r''\cos^2\varphi'')\cos^2 J'' + q'\sin^2 J'' - r'\cos\varphi''\sin 2J'', \\ B = (p\sin^2\varphi'' - q' + r''\cos^2\varphi'')\sin J''\cos J'' + r'\cos\varphi''\cos 2J'', \\ B' = (p - r'')\sin\varphi''\cos\varphi''\cos J'' + r'\sin\varphi''\sin J'', \\ B'' = (p - r'')\sin\varphi''\cos\varphi''\sin J'' - r'\sin\varphi''\cos J''. \end{array} \right.$$

Actuellement, faisons coïncider R'', non plus avec Oz, mais avec Oy, l'équation de son plan de polarisation sera tout d'abord

$$(B'B'' - AB)x - (BB' - A'B'')z = 0.$$

puis, finalement, eu égard aux valeurs précédentes,

$$(c') \frac{x}{z} = \operatorname{tg} \mathfrak{b}'' = \frac{\sin\varphi''(pr' + M\cos\varphi''\operatorname{tg}J'')\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 J''}}{pr'\cos\varphi''\operatorname{tg}^2 J' - (N'\sin^2\varphi'' + L'\cos^2\varphi'')\operatorname{tg}J'' - pr'\cos\varphi''},$$

Digitized by Google

expression dans laquelle on a fait, par analogie avec le premier cas,

$$L' = -p(q'-r''), \quad M' = q'(r''-p)-r'^2, \quad N' = r''(p-q')+r'^2.$$

($\alpha'$). Lorsque $\varphi' = 0$, $\Pi'$ coïncide avec le plan $\mathbf{x} = 0$ qui passe par la bissectrice aiguë ou obtuse des axes optiques.

($\beta'$). Pour $\theta = 0$, ce qui implique $r' = 0$, on trouve (le facteur $\operatorname{tg} J'$ supprimé)

$$\frac{\mathbf{x}}{\mathbf{z}} = \frac{(a^2-c^2)\sin\varphi'\cos\varphi'}{[(a^2-b^2)\sin^2\varphi' - (b^2-c^2)\cos^2\varphi']\cos J'}.$$

Le cas de $\theta = \frac{\pi}{2}$ s'en déduit en permutant entre eux $b$ et $c$.

($\gamma'$). Soit $\theta = 45^\circ$ et $a = b$; il vient d'abord

$$p = 2c^2, \qquad q' = r'' = b^2 + c^2, \qquad r' = b^2 - c^2,$$

et comme ces conditions permettent de supprimer dans les deux termes de ($c'$) le facteur $(b^2-c^2)(\cos\varphi' \operatorname{tg} J' + 1)$, il reste

$$\frac{\mathbf{x}}{\mathbf{z}} = \frac{\sin\varphi}{\sin J' - \cos\varphi' \cos J'},$$

conjointement avec la condition $\cot J' = -\cos\varphi'$, résultats déjà rencontrés plus haut.

($\delta'$). Enfin, quand, avec $\theta = 0$, on suppose que les plans $\Pi'$ et $P_1''$ coïncident, on trouve

$$\frac{\mathbf{z}}{\mathbf{z}} = -\frac{B}{B'} = -\frac{[c^2(a^2-b^2)\sin^2\varphi' - a^2(b^2-c^2)\cos^2\varphi']\cos J'}{b^2(a^2-c^2)\sin\varphi'\cos\varphi'};$$

formule identique, au fond, avec celle obtenue (III, n° 18).

**25.** *Forme particulière de l'équation du plan* $\Pi'$. — Soient

$$\frac{X'}{\lambda'} = \frac{Y'}{\mu'} = \frac{Z'}{\nu'} = \rho,$$

les équations du rayon normo-conjugué R' rapportées aux axes principaux de l'ellipsoïde générateur. Coupons cet ellipsoïde par une série de plans perpendiculaires à la direction OL'

Digitized by Google

de ce rayon. Le diamètre $OL_1$, lieu des centres des sections produites et qui n'est autre que l'antirayon relatif à $R'$ (nº 12). sera représenté par le système

$$\frac{X'}{a^2\lambda'} = \frac{Y'}{b^2\mu'} = \frac{Z'}{c^2\nu'}.$$

On en déduit pour le plan $L'OL_1$ ou $\Pi'$ l'équation

$$(65) \quad X'(b^2-c^2)\mu'\nu' - Y'(a^2-c^2)\nu'\lambda' + Z'(a^2-b^2)\lambda'\mu' = 0.$$

($\alpha$). Quand, au lieu d'être quelconque, l'ellipsoïde est de révolution autour de $OZ'$ et qu'on a, par conséquent, $a = b$, l'équation précédente se réduit à $\frac{X'}{\lambda'} = \frac{Y'}{\mu'}$. — De même, lorsqu'il est de révolution autour de $OX'$ ou qu'on a $b = c$, il vient : $\frac{Y'}{\mu'} = \frac{Z'}{\nu'}$; d'où il suit que, dans ces deux hypothèses, le plan $\Pi'$ passe toujours, et par le rayon donné, et par *l'axe de révolution* de l'ellipsoïde générateur (Biot), axe que l'on sait d'ailleurs être également de révolution par rapport à la surface des ondes correspondantes.

($\beta$). Dans le cas général, ce même plan $\Pi'$ passe constamment dans le *voisinage* des axes principaux $OZ'$ et $OX'$, vu que, pour les cristaux à deux axes, les différences $a - b$ et $b - c$ restent toujours, en fait, très petites.

---

## IX

### Examen du cas où l'incidence sur le second milieu est normale.

---

**26.** I. — *Cônes de Malus.* — Afin de traiter la question avec plus de généralité, il nous faut revenir, momentanément du moins, au cas où les trois pseudo-surfaces coordonnées

Digitized by Google

$\mathcal{F}$, $\mathcal{F}'$, $\mathcal{F}''$ sont quelconques. Les formules établies dans cette hypothèse au commencement de ce Mémoire seront dès lors applicables, et comme les résultats qu'elles nous ont fournis pourront ici se calculer *directement* sans grand effort, il s'ensuivra pour ces mêmes formules une vérification quasi permanente.

Soit donc, à nouveau, $Oxyz$ le trièdre azimutal. Au lieu de lui donner une position quelconque dans l'espace, laissons-le en coïncidence avec le trièdre mobile OXYZ, ce qui revient à supposer que, dans les relations (12), les cosinus $\alpha, \beta', \gamma''$ sont égaux à l'unité et que les six autres sont nuls.

Les équations (11) et (13) étant actuellement identiques, par hypothèse, on a

$$(66)\qquad \begin{cases} A = p & 2B = B_1 + B_2 = r' + q'', \\ A' = q' & 2B' = B'_1 + B'_2 = p'' + r, \\ A'' = r'' & 2B'' = B''_1 + B''_2 = q + p'. \end{cases}$$

Or, lorsque l'incidence est et reste normale, ce qui est le seul cas que nous ayons à envisager ici, les seuls paramètres *utiles* sont, comme la suite le fera voir,

$$(67)\qquad \begin{cases} A = p, & B_2 = q'', & B''_1 = q, \\ A' = q', & B'_1 = p'', & B''_2 = p'. \end{cases}$$

Ceci posé, 1° considérons à la fois le cône de Malus et son orthogonal. D'après (14) et (18), leurs équations, en tenant compte de la dernière des conditions (66), sont respectivement

$$(68)\qquad \begin{cases} pX^2 + q'Y^2 + q''YZ + p''ZX + (q + p')XY = 0, \\ qX^2 - p'Y^2 - p''YZ + q''ZX - (p - q')XY = 0, \end{cases}$$

ce qu'on peut aussi écrire

$$(68')\qquad \begin{cases} (pX + p'Y + p''Z)X + (qX + q'Y + q''Z)Y = 0, \\ (qX + q'Y + q''Z)X - (pX + p'Y + p''Z)Y = 0. \end{cases}$$

Sous l'une ou l'autre forme on voit qu'elles sont indépendantes, conformément au tableau (67), de $r$, $r'$, $r''$ ou de $B_1$, $B'_2$, $A''$. Ajoutons que c'est sous la seconde de ces formes



Digitized by Google

précisément que nous avons pour la première fois rencontré nos deux cônes dans notre premier Mémoire d'Optique géométrique (nos 7 et 9).

En faisant $Z=0$, on retrouve les tangentes aux lignes de courbures et aux lignes asymptotiques de $\mathcal{S}'$, tangentes ou lignes dont les conditions respectives de réalité sont, pour le remarquer en passant,

$$(69)\qquad (q+p')^2-4pq' \gtreqless 0,\qquad (p-q')^2+4qp' \gtreqless 0.$$

2° Quant aux cônes moyens de la première série d'abord, ils nous sont donnés, soit par la formule générale (22'), soit par celle (24) de notre premier Mémoire. On a effectivement dans les deux cas :

$$(70)\qquad \left\{\begin{array}{l}(pX+p'Y+p''Z)(X\sin i+Y\cos i)\\ -(qX+q'Y+q''Z)(X\cos i-Y\sin i)=0.\end{array}\right.$$

Ceux de la seconde série en résultent par le changement de $i$ en $i\pm\frac{\pi}{2}$, ce qui donne

$$(71)\qquad \left\{\begin{array}{l}(pX+p'Y+p''Z)(X\cos i-Y\sin i)\\ +(qX+q'Y+q''Z)(X\sin i+Y\cos i)=0.\end{array}\right.$$

Dans le cas particulier où l'on a

$$\frac{p}{q}=\frac{p'}{q'}=\frac{p''}{q''}=\cot\psi,$$

cette double série de cônes devient ***évanouissante*** et prend la forme

$$(70')\qquad (pX+p'Y+p''Z)[X\sin(i-\psi)+Y\cos(i-\psi)]=0,$$

$$(71')\qquad (pX+p'Y+p''Z)[X\cos(i-\psi)-Y\sin(i-\psi)]=0.$$

A peine est-il besoin d'ajouter que si, au lieu de choisir OZ pour normale, on prenait successivement OX et OY, les formules nouvelles seraient analogues aux précédentes; on y remarquerait, par exemple, que les premières seraient indépendantes de $p$, $p'$, $p''$, et les dernières de $q$, $q'$, $q''$.

Digitized by Google

**27.** II. — *Plan de polarisation du rayon normal. — Plan connexe. — Antinormale.* — Comme on pouvait le prévoir (n° 11), la double série de cônes (70) et (71) contient la normale OZ, et en outre l'antirayon OL, qu'il convient de qualifier ici d'*antinormale*. Les équations de cette semi-droite sont d'ailleurs

$$(72)\qquad \begin{cases} pX + p'Y + p''Z = 0, \\ qX + q'Y + q''Z = 0, \end{cases}$$

système que l'on peut aussi écrire :

$$(72')\qquad \frac{X}{p'q'' - q'p''} = \frac{Y}{p''q - q''p} = \frac{Z}{pq' - qp'},$$

ou encore, en vertu de nos notations antérieures (I, n° 12), qui retrouvent ici leur emploi,

$$(72'')\qquad \frac{X}{K} = \frac{Y}{K'} = \frac{Z}{K''},$$

avec cette remarque enfin que, lorsque les conditions minima

$$r' = q'', \qquad p'' = r, \qquad q = p'$$

sont satisfaites, les binômes K, K', K'' y sont respectivement égaux à G'', H'', K''.

Cela étant, de l'équation $\Delta_i = 0$, qui exprime que le cône général $C_i$ ou (70) devient évanouissant, on tire, abstraction faite des solutions imaginaires du diviseur $(\operatorname{tg}^2 i + 1)$ égalé à zéro, la solution réelle unique :

$$(73)\qquad \operatorname{tg} i = -\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = -\frac{p''K' - q''K}{p''K + q''K'}.$$

Posant à cause de $A_2 = a_2$

$$\frac{K'}{K} = \operatorname{tg} \alpha \qquad \text{et} \qquad \frac{q''}{p''} = \operatorname{tg} a_2,$$

il vient $i = a_2 - \alpha$, l'angle $a_2$ désignant toujours le normo-azimut du plan tangent $P_2$.

L'équation du plan de polarisation $\Pi$ et celle de son connexe $\Xi$ s'en déduisent facilement, à savoir :

Digitized by Google

$$(74)\quad\begin{cases} \dfrac{Y}{X}=\dfrac{p''q-q''p}{p'q''-q'p''}=\dfrac{K'}{K}=\operatorname{tg}\alpha, \\ [(p-q')p''+(q+p')q'']X+[(q+p')p''-(p-q')q'']Y \\ \qquad\qquad +(p''^2+q''^2)Z=0. \end{cases}$$

Entre autres propriétés du premier de ces plans, on vérifie, comme application de ce qui a été établi (nº 12), que les plans $\Pi$ et $P_1$, dont les traces horizontales ont pour coefficients angulaires respectifs $\mu=\dfrac{K'}{K}$ et $\mu_1=-\dfrac{p''}{q''}$, sont deux plans diamétraux conjugués dans le cylindre droit représenté par l'équation

$$pX^2+2qXY+q'Y^2=1.$$

Ils sont, en outre, deux plans diamétraux normo-conjugués dans le cylindre droit, lui aussi, qui a pour base l'indicatrice minima

$$qX^2-2pXY-qY^2=-1.$$

Généralement, du reste, on peut dire que l'accord est complet entre nos résultats actuels et ceux qui leur correspondent (§ IV). Nous leur adjoindrons toutefois le suivant, qui n'a pas son homologue dans tout ce qui a été dit jusqu'ici.

Il s'agit de l'équation du plan tangent au cône de Malus relatif à OZ, plan mené le long de l'antinormale $OL_1$; on trouve

$$(75)\quad (pK+qK')X+(p'K+q'K')Y+(p''K+q''K')Z=0,$$

équation très symétrique de laquelle on pourrait déduire, remarquons-le, celle relative à l'orthogonal du cône de Malus par le simple changement de signes de $p, p', p''$, ou bien de $q, q', q''$.

**28.** Passons à l'examen de quelques cas particuliers.

1º Soit $p+q'=0$, $q-p'=0$, double hypothèse qui exige, comme on l'a dit souvent, que la pseudo-surface $\mathcal{F}''$ se transforme en une surface minima, les deux autres $\mathcal{F}$ et $\mathcal{F}'$ restant quelconques. On aura d'abord pour les équations de l'antinormale

Digitized by Google

$$(76)\qquad \frac{X}{p''p + q''q} = \frac{Y}{p''q - q''p} = \frac{Z}{p^2 + q^2}.$$

Quant aux plans $\Pi$ et $\Xi$, ils prendront la forme

$$(77)\qquad \left\{\begin{aligned} &(p''q - q''p)X - (p''p + q''q)Y = 0,\\ &(p''p + q''q)X + (p''q - q''p)Y + \tfrac{1}{2}(p''^2 + q''^2) = 0.\end{aligned}\right.$$

Ces plans sont perpendiculaires entre eux, et cela devait être, car la condition $A = -A'$ (n° 12) revenant ici à $p = -q'$ est remplie par hypothèse. Que si l'on pose $\frac{p}{q} = \cot\psi_0$, comme ci-dessus, l'équation du plan $\Pi$ reviendra simplement à

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg}(\varphi_0 - \mathrm{a}_2) = \operatorname{tg}\alpha,$$

d'où $\alpha = \psi - \mathrm{a}_2$.

2° Supposons que l'on ait $p - q' = 0$; $q + p' = 0$, ce qui implique, comme il est aisé de s'en assurer, que $\mathcal{F}''$ n'ait ni lignes remarquables réelles, ni, conséquemment, foyers correspondants réels, les équations de l'antinormale seront alors

$$(78)\qquad \frac{-X}{p''p + q''q} = \frac{Y}{p''q - q''p} = \frac{Z}{p^2 + q^2}.$$

Elles ne diffèrent des équations (76) que par la permutation des signes de X et de Z. On a, d'autre part, pour le couple des plans $\Pi$ et $\Xi$,

$$(79)\qquad \left\{\begin{aligned} &(p''q - q''p)X + (p''p + q''q)Y = 0,\\ &Z = 0;\end{aligned}\right.$$

d'où l'on voit que le plan $\Pi$, notamment, occupe ici une position *symétrique* de celle qu'il avait dans le premier cas.

3° En faisant, pour abréger,

$$(80)\qquad \left\{\begin{aligned} \mathfrak{D}_i &= [(q+p')q'' - 2q'p'']\sin^2 i + [(q-p')p'' + (p+q')q'']\sin i\cos i\\ &\quad + [(p-q')p'' + 2p'q'']\cos^2 i,\\ \mathfrak{E}_i &= [(q+p')p'' - 2pq'']\sin^2 i + [(q-p')q'' - (p+q')p'']\sin i\cos i\\ &\quad - [(p-q')q'' - 2qp'']\cos^2 i,\\ -\mathfrak{F}_i &= [(q+p')^2 - 4pq']\sin^2 i + 2(q-p')(p+q')\sin i\cos i\\ &\quad + [(p-q')^2 + 4pq']\cos^2 i,\end{aligned}\right.$$

Digitized by Google

l'équation (46) de la première série des cônes polaires ou supplémentaires de Malus devient

$$(81)\quad \left\{ \begin{array}{l} [(q'' \sin i + p'' \cos i)X - (p'' \sin i - q'' \cos i)Y]^2 \\ \qquad - (2\mathfrak{D}_i X + 2\mathfrak{E}_i Y + \mathfrak{F}_i Z)Z = 0. \end{array} \right.$$

Quand $\mathfrak{F}'$ se transforme, comme précédemment, en surface minima, cette équation peut s'écrire

$$(81')\quad \left\{ \begin{array}{l} \qquad [(q'' \sin i + p'' \cos i)X - (p'' \sin i - q'' \cos i)Y]^2 \\ - 4[(p''p + q''q)X + (p''q - q''p)Y - (p^2 + q^2)Z]Z = 0. \end{array} \right.$$

Dans ce dernier facteur égalé à zéro, on reconnaît le plan perpendiculaire à l'antinormale (76). Or, c'est à ce plan *fixe* et à celui des XY que tous les cônes $C'_j$ se trouvent actuellement tangents, l'un ayant pour axe la normale et l'autre l'antinormale.

# X

## Coniques bipolaires. — Lignes neutres dans les cristaux.

**29.** I. — *Coniques bipolaires.* — Si l'on coupe par le plan horizontal $Z = Z_1$ le cône général (70), la série des coniques d'intersection que l'on obtiendra passera tout entière par deux points fixes, savoir : la nouvelle origine O et la trace $O_1$ de l'antinormale $OL_1$ sur le plan sécant, trace qui a pour coordonnées

$$(82)\qquad X_1 = \frac{p'q'' - q'p''}{pq' - qp'} Z_1, \qquad Y_1 = \frac{p''q - q''p}{pq' - qp'} Z_1.$$

Ce sont donc là des coniques *bipolaires.*

Une seconde série de ces courbes $S_j$ jouissant de la même propriété s'obtiendra en remplaçant $i$ par $i \pm \frac{\pi}{2}$ dans l'équa-

Digitized by Google

tion des premières. Signalons quelques-unes de leurs propriétés communes.

1° Le lieu des centres de ces deux séries de coniques est encore une conique, mais d'une équation assez compliquée dans le cas général. On obtient, du reste, ce lieu en éliminant $i$ entre les deux équations dérivées (n° 28)

$$\frac{X}{\mathfrak{D}_i} = \frac{Y}{\mathfrak{E}_i} = \frac{Z_1}{\mathfrak{F}_i}.$$

Dans le cas particulier où $\mathfrak{F}'$ se change en la surface F' et où l'on suppose en sus l'indicatrice de cette dernière surface rapportée à ses axes de figure, au moyen des conditions $p = q' = 0$, le lieu qui nous occupe se réduit à

$$(83)\quad \left\{ \begin{aligned} &2q(q+p')X^2 + 2p'(q+p')Y^2 \\ &+ q''(p'+3q)Z_1X + p''(q+3p')Z_1Y + (p''^2+q''^2)Z_1^2 = 0. \end{aligned} \right.$$

Enfin si F' devient une surface minima, c'est-à-dire si $p' = q$, on n'a plus que le cercle évanouissant

$$\left(X + \frac{q''}{2q}Z_1\right)^2 + \left(Y + \frac{p''}{2q}Z_1\right)^2 = 0,$$

ou, si l'on veut, le point milieu C du segment $OO_1$.

2° Revenant au cas général, nous écrirons d'abord l'équation (70) sous la forme développée

$$(84)\quad \left\{ \begin{aligned} &(p\sin i - q\cos i)X^2 + [(q+p')\sin i + (p-q')\cos i]XY \\ &\quad + (q'\sin i + p'\cos i)Y^2 + (p''\sin i - q''\cos i)Z_1X \\ &\quad + (q''\sin i + p''\cos i)Z_1Y = 0. \end{aligned} \right.$$

On en déduit immédiatement pour la direction des axes de figure de ces diverses coniques :

$$\operatorname{tg} 2\omega_i = \frac{(q+p')\sin i + (p-q')\cos i}{(p-q')\sin i - (q+p')\cos i} = -\cot(2\omega_1 - i),$$

et, par suite,

$$\omega_i = \left(\omega_1 - \frac{i}{2}\right) \pm \frac{\pi}{4} = \omega_2 - \frac{i}{2},$$

Digitized by Google

en appelant $\omega_1$ et $\omega_2$ les directions-limites des axes relatifs à $i=0$ et $i=\frac{\pi}{2}$.

On en conclut aussi incidemment :

$$\frac{\sin 2\omega_i}{(q+p')\sin i+(p-q')\cos i}=\frac{\cos 2\omega_i}{(p-q')\sin i-(q+p')\cos i}=\frac{1}{\mathfrak{J}},$$

en posant

$$\mathfrak{J}^2=(q+p')^2+(p-q')^2.$$

D'autre part, la tangente à l'origine, trace horizontale de l'un quelconque des plans tangents moyens, a pour équation

$$\frac{Y}{X}=\operatorname{tg} a_i=-\frac{p'\sin i-q'\cos i}{q'\sin i+p'\cos i}=-\cot(a_1-i),$$

ce qui entraîne

$$a_i=(a_1-i)\pm\frac{\pi}{2}=a_2-i.$$

Nous avons donc là, à la fois, une application et une vérification du théorème fondamental III (n° 8).

3° Pour spécifier le genre de chacune des coniques (84), nous devons poser

$$(85)\quad \left\{\begin{aligned}&[(q+p')\sin i+(p-q')\cos i]^2\\&-4(p\sin i-q\cos i)(q'\sin i+p'\cos i)\gtrless 0,\end{aligned}\right.$$

ce qui équivaut à

$$(85')\quad \left\{\begin{aligned}&[(q+p')^2-4pq']\operatorname{tg}^2 i+2(q-p')(p+q')\operatorname{tg} i\\&+[(p-q')^2+4qp']\gtrless 0,\end{aligned}\right.$$

ou plus simplement, à $\mathfrak{I}_i\gtrless 0$.

La condition de réalité des racines de ce trinôme étant

$$K'[(q+p')^2+(p-q')^2]=K'\mathfrak{J}^2>0,$$

nous examinerons spécialement le double cas d'égalité qu'elle comporte.

Digitized by Google

($\alpha$). $K'' = pq' - qp' = 0$. — Le point fixe $O_1$ est à l'infini (82), et comme la condition (85) revient ici à

$$[(q-p')\,\mathrm{tg}\,i + (p+q')]^2 = 0,$$

les coniques $S_i$ se *condensent*, pour ainsi dire, dans la *parabole unique*

$$(\mathrm{P})\left\{\begin{array}{l}(p^2+q^2)(pX+p'Y)^2\\ +[(p+q')p''+(q-p')q'']Z_1X+[(p+q')q''-(q-p')p'']Z_1Y=0.\end{array}\right.$$

($\beta$). $\mathfrak{J} = 0$ ou $p - q' = 0$, $q + p' = 0$. — C'est le cas où la pseudo-surface $\mathcal{F}'$ a toutes ses lignes remarquables imaginaires (n° 28). Les coniques $S_i$ sont actuellement des cercles ayant pour équation

$$(86)\left\{\begin{array}{l}(p\sin i - q\cos i)(X^2+Y^2)\\ +(p''\sin i - q''\cos i)Z_1X + (q''\sin i + p''\cos i)Z_1Y = 0.\end{array}\right.$$

Ils passent par l'origine et par le second point fixe $O_1$ ou

$$X_1 = -\frac{p''p+q''q}{p^2+q^2}Z_1, \qquad Y_1 = \frac{p''q-q''p}{p^2+q^2}Z_1.$$

Le lieu de leurs centres se réduit exceptionnellement à la *droite*

$$X_1X + Y_1Y = \frac{p''^2+q''^2}{2(p^2+q^2)}Z_1^2,$$

laquelle n'est autre que la perpendiculaire élevée sur le milieu C du segment fixe $OO_1$ (*fig.* 2).

Sans insister sur la variation du rayon dans la double série des cercles $S_i$ et $S_j$, disons seulement que le cercle de rayon minimum a $OO_1$ pour diamètre et que les deux cercles *extrêmes* correspondants au cône de Malus et à son orthogonal s'obtiennent en faisant $i = \frac{\pi}{2}$, pour le premier et $i = 0$ pour le second.

**30**. II. — *Application aux lignes neutres des cristaux.* — Ces courbes, dont nous aurons tout à l'heure à justifier la dénomination, correspondent au cas où les coniques $S_i$ sont des hyperboles et où l'on a, conséquemment, $\mathfrak{I}_i < 0$.

Digitized by Google

Il suffira tout d'abord à notre objet que $\mathcal{F}'$ se transforme en une surface F' satisfaisant aux conditions connues : $p = q' = 0$. Les coniques (70) pourront alors, en admettant pour simplifier que $Z_1 = 1$, se mettre sous la forme

$$(87)\qquad \left\{ \begin{array}{l} qX^2 - (q + p')\operatorname{tg} i . XY - p'Y^2 \\ - (p' \operatorname{tg} i - q')X - (q' \operatorname{tg} i + p')Y = 0. \end{array} \right.$$

Nous supposerons, comme d'habitude, $q$ et $p'$ de même signe et nous aurons ainsi exclusivement des *hyperboles* passant toutes par l'origine et par le point fixe :

$$X_1 = -\frac{q'}{q}, \qquad Y_1 = -\frac{p'}{p'}.$$

Enfin si, pour simplifier leur équation davantage, nous admettons que F' devienne une surface minima et qu'en outre le plan $X = Y$ soit, non pas seulement un plan médian mais un plan de symétrie, double hypothèse qui implique : $q = p'$ et $p' = q'$, les hyperboles (87) deviendront *équilatères* et auront pour équation

$$(88)\qquad \left\{ \begin{array}{l} X^2 - 2 \operatorname{tg} i . XY - Y^2 \\ + X_1 (\operatorname{tg} i - 1)X + X_1 (\operatorname{tg} i + 1)Y = 0, \end{array} \right.$$

en remarquant que les coordonnées du point O sont actuelle-

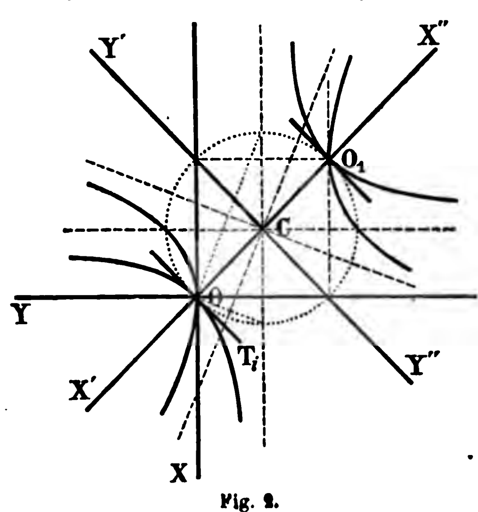



Fig. 2.

ment $X_1 = Y_1 = -\frac{p'}{q}$. C'est à cette dernière forme que nous allons nous arrêter.

Pour $i = 0$, l'hyperbole générale (88) s'évanouit dans la *croix fixe* $X'X'$, $Y'Y'$ dont l'équation est

$$(X - Y)(X + Y - X_1) = 0.$$

Lorsque $i = \frac{\pi}{4}$, la courbe devient tangente à l'axe des X; on peut l'écrire

$$X^2 + 2XY - Y^2 + 2X_1Y = 0.$$

Pour $i = \frac{\pi}{2}$, elle est symétrique par rapport à la bissectrice $X = Y$ et prend la forme

$$2XY - X_1(X + Y) = 0.$$

Durant cette variation de l'obliquité $i$, identique du reste à celle de $\varphi'$ ou de $\varphi - \frac{\pi}{4}$ (n° 19) et dirigée, par conséquent, comme elle de gauche à droite, la tangente à l'origine $OT_i$ tourne d'une vitesse angulaire *égale et contraire* à $i$, représentée par la formule

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg} a_i = \frac{1 - \operatorname{tg} i}{1 + \operatorname{tg} i} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - i\right),$$

ou par cette autre beaucoup plus simple $a_i = \frac{\pi}{4} - i$.

Cela étant, comme le mouvement de l'axe transverse de l'hyperbole générale (88) est défini par la relation $\omega_i = -\frac{i}{2}$, on en conclut que la tangente $OT_i$ tourne *dans le même sens* que le système des axes ou des asymptotes de l'hyperbole variable qui lui correspond et d'un mouvement *deux fois plus rapide*, ce qui est encore une vérification du théorème III (n° 8).

Ajoutons que, lorsque $p'$ et $q'$, ou bien $X_1$ et $Y_1$, ne sont pas seulement *égaux* mais même nuls, on obtient la *croix variable*

$$X^2 - 2\operatorname{tg} i . XY - Y^2 = 0,$$

Digitized by Google

dont les deux bras ont respectivement pour équations

$$\frac{Y}{X} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{i}{2}\right), \quad \frac{Y}{X} = -\cot\left(\frac{\pi}{4} - \frac{i}{2}\right).$$

La série des cônes moyens complémentaires donne, de son côté, une seconde croix, savoir :

$$\frac{Y}{X} = -\operatorname{tg}\frac{i}{2}, \quad \frac{Y}{X} = \cot\frac{i}{2},$$

située à 45° de la première.

A ces diverses particularités on reconnaît manifestement les variations de forme et de position qu'offrent dans les cristaux à un ou à deux axes les lignes *neutres* (V. *Introduction*) lorsqu'on les observe entre un polariseur et un polariscope. Ces lignes, si différentes d'espèce avec les courbes annulaires ou à branches infinies que nous avons analysées dans notre second Mémoire, ne pouvaient pas, à notre avis, dériver des mêmes formules que celles-là. Aussi, pour quiconque voudra bien comme nous les reconnaître dans la discussion qui précède, elles lui apparaîtront comme produites par les sections horizontales faites dans la variété des cônes de Malus relatifs à la normale, sections que la rotation du cristal rend successivement visibles en lumière convergente polarisée.

**31.** Comme complément de la question actuelle, cherchons quelle valeur il faut attribuer aux constantes $\frac{q'}{q} = \frac{f}{h'} = k$ et $\frac{p'}{q} = \frac{q'}{h'} = k'$ qui mesurent les coordonnées $X_1$, $Y_1$ du point $O_1$ (n° 30), pour que, dans le plan des ZX, l'angle $ZOL_1$ ou $LOL_1 = V$ de nos rayons fixes soit égal à l'angle $2\varpi_0$ des axes optiques d'un cristal à deux axes donné, de telle façon que, lorsque le rayon normal OL aura été mis en coïncidence avec l'un de ces axes, l'antinormal $OL_1$ prenne la direction de l'autre, et qu'on puisse ainsi substituer les points fixes O et $O_1$ aux *pôles optiques* (réels ou virtuels) du cristal.

Digitized by Google

A cet effet, il nous faut faire tourner autour de OY, de gauche à droite et d'un angle égal à $\varpi_0$, l'hyperboloïde générateur de la surface des ondes de première réfraction ou, plus simplement, son cône asymptote

$$kYZ + k'ZX + XY = 0. \tag{89}$$

Pour plus de généralité dans le calcul, faisons-le tourner d'abord d'un angle *quelconque* I à l'aide des formules usuelles

$$Z = z\cos I - x\sin I,$$
$$X = z\sin I + x\cos I.$$

Les coefficients de l'équation (89) transformée auront pour expression

$$(b'')\quad \left\{\begin{array}{ll} A = 2k'\sin I\cos I, & B = -k\cos I - \sin I, \\ A' = 0, & B' = k'\sin^2 I - k'\cos^2 I, \\ A'' = -2k'\sin I\cos I, & B'' = k\sin I - \cos I. \end{array}\right.$$

Portant ces valeurs dans les équations (44) de l'antirayon $OL_1$, on trouve

$$\frac{x}{(k\,\mathrm{tg}\,I - 1)(\mathrm{tg}\,I + k)} = \frac{-y\cos I}{k'(k\,\mathrm{tg}\,I + 1)} = \frac{z}{(k\,\mathrm{tg}\,I - 1)^2}. \tag{90}$$

Cela étant, pour que $OL_1$ soit dans le plan principal des **zx**, qui est supposé celui des axes optiques, il faut avoir ou bien $k' = 0$ ou bien $\mathrm{tg}\,I = -\frac{1}{k}$.

($\alpha$). Soit $k' = 0$. Sans laisser plus longtemps I indéterminé, posons $I = \varpi_0$; les équations (90) de $OL_1$ se réduiront à

$$y = 0, \qquad \frac{x}{z} = \mathrm{tg}\,V = -\frac{\mathrm{tg}\,\omega_0 + k}{1 - k\,\mathrm{tg}\,\omega_0},$$

d'où l'on voit que pour avoir $V = -2\varpi_0$ et, par suite, en valeur et en signe,

$$\mathrm{tg}\,V = -\mathrm{tg}\,2\varpi_0 = -\frac{2ac\sqrt{(a^2-b^2)(b^2-c^2)}}{c^2(a^2-b^2) - a^2(b^2-c^2)},$$

il suffit de faire *aussi* $k = \mathrm{tg}\,\varpi_0$.

Digitized by Google

($\beta$). Soit $\operatorname{tg} I = -\frac{1}{k}$. Si l'on prend $k = -\cot \varpi_0$ et, par suite, $I = -\left(\frac{\pi}{2} - \varpi_0\right)$, on n'aura pas une solution foncièrement distincte de la précédente, car ceci revient à considérer O$_1$X et non plus OZ comme la ligne *moyenne* du cristal.

---

# XI

## Du clivage des rayons lumineux ou calorifiques dans leur plan de polarisation.

**32**. Pour donner immédiatement à cette question un premier degré de généralité, considérons, au lieu du cône de Malus $C_1$, le cône intermédiaire ou moyen $C_i$. On sait que, dans un tel cône (I, n° 10), l'élément de départ OO′ ou $dS$ reste, par hypothèse, constamment situé dans un plan faisant un angle égal à $\frac{\pi}{2} - i$ ou $j$ avec le plan de l'angle de contingence $d\varepsilon$ des directions infiniment voisines OL, O′L′ ou, plus particulièrement ici, OZ, O′Z′.

Cela étant, écrivons sous la forme suivante:

$$(91)\qquad \frac{pX + p'Y + p''Z}{X\cos i - Y\sin i} = \frac{qX + q'Y + q''Z}{X\sin i + Y\cos i},$$

l'équation (70) du cône $C_i$. En y faisant $Z = 0$, il viendra

$$(92)\qquad \frac{pX + p'Y}{X\cos i - Y\sin i} = \frac{qX + q'Y}{X\sin i + Y\cos i} = -\frac{1}{f_i},$$

avec

$$(93)\qquad \frac{1}{f_i^2} - [(q - p')\sin i + (p + q')\cos i]\frac{1}{f_i} + (pq' - qp') = 0,$$

Digitized by Google

ce qui nous donne, et les lignes pseudo-conjuguées $S_i$ d'obliquité $i$, savoir :

$$(S_i) \qquad (p\,ds + p'\,ds')(ds \sin i + ds' \cos i) \\ -(q\,ds + q'\,ds')(ds \cos i - ds' \sin i) = 0,$$

et les foyers moyens ou dioptiques relatifs à OZ.

Actuellement, considérons X, Y, Z dans (91) comme les coordonnées courantes d'une arête bien déterminée quoique quelconque du cône $C_i$ et posons

$$(91') \qquad \frac{pX + p'Y + p''Z}{X\cos i - Y\sin i} = \frac{qX + q'Y + q''Z}{X\sin i + Y\cos i} = -\frac{1}{\zeta}.$$

Il résulte du *principe de continuité* que $\zeta$ ne sera autre chose que la distance de l'origine au point où OZ est rencontré par sa position infiniment voisine O′Z′ lorsque (sans rester horizontal comme pour $f_i$) l'élément $dS$ a tourné d'un angle égal à $\frac{\pi}{2} - i$ ou $j$, en projection horizontale de façon à venir se rabattre sur le plan de l'angle de contingence, l'orientation de O′Z′ étant d'ailleurs supposée rester la même durant toute cette rotation de $dS$.

D'autre part, l'élimination de Z dans les rapports (91′) et une notation bien connue (n° 27) nous permettent d'écrire

$$(94) \frac{K'X - KY}{(p''\sin i - q''\cos i)X + (q''\sin i + p''\cos i)Y} = \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\alpha_i} M = -\frac{1}{\zeta},$$

d'où l'on voit que lorsque pour une valeur quelconque donnée à $i$, l'angle variable $\varphi$ devient égal à l'azimut $\alpha$ du plan $\Pi$, le segment correspondant $\zeta$ prend, de son côté, une longueur infinie. On en conclut que si dans le plan de polarisation on mène, à partir de l'origine, en guise de génératrice du cône évanouissant $C_i$, tous les rayons vecteurs possibles, et que sur chacun d'eux on porte l'élément de départ $dS$, tous les déplacements O′Z′ de la normale OZ s'opéreront dans le plan $\Pi$ d'abord et dans la direction même de OZ ensuite.

Digitized by Google

Cette propriété remarquable du plan de polarisation nous semble constituer un véritable *clivage* vis-à-vis de l'ensemble des parallèles infiniment voisines $O'Z'$ du rayon donné $OZ$.

On arriverait du reste à cette même conclusion d'une façon plus directe en observant que la paraboloïde hyperbolique qu'on déduit de (94), savoir :

$$(95)\quad (K'X-KY)\zeta+[(p'\sin i-q'\cos i)X+(q'\sin i+p'\cos i)Y]=0.$$

a, *quel que soit* $i$, l'un de ses systèmes de génératrices parallèle au plan directeur $K'X-KY=0$, c'est-à-dire au plan $\Pi$.

L'étude du cône $C_j$ complémentaire de $C_i$ conduirait manifestement, elle aussi, à la même propriété. Il suffit pour s'en assurer de partir de la relation suivante, similaire de (94) :

$$(96)\quad \frac{K'X-KY}{(q'\sin i+p'\cos i)X-(p'\sin i-q'\cos i)Y}=\frac{\operatorname{tg}\alpha-\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\varphi-\operatorname{tg}\alpha_j}N=\frac{1}{\zeta}.$$

Mais il y a plus : si l'on se reporte au n° 24, on verra que, de même que nous sommes passé du cas le plus général où $OL$ était quelconque à celui de l'incidence normale sur le second milieu, en substituant simplement dans toutes les formules $p, q', q'$ à $A, A', B_1$, ainsi pouvons-nous, par la substitution inverse, passer en toute rigueur du cas actuel au cas général, et étendre par cela même la loi signalée plus haut à ***toutes les directions de l'espace***.

**33**. Quelques remarques serviront à compléter ces résultats:

1° Reprenons la formule (94). — Si l'on exprime que le rapport qui figure dans son premier membre est indépendant de X et de Y, il viendra

$$\frac{K}{p'\sin i-q'\cos i}=\frac{K'}{q'\sin i+p'\cos i}=\frac{\sqrt{K^2+K'^2}}{\sqrt{p'^2+q'^2}}=\frac{1}{\zeta_k}.$$

On pourrait appeler *segment* ou *vecteur principal* la longueur $\zeta_k$, puisqu'elle est commune à la double série des cônes de Malus relative à $OZ$.

Digitized by Google

2° Des deux premiers rapports précédents on tire

$$\operatorname{tg} i = -\frac{p'K' - q'K}{p'K + q'K'} = -\frac{\Delta_2}{\Delta_1}.$$

C'est précisément la formule (73) obtenue par d'autres considérations. On la retrouve, du reste, encore (au facteur $K' = pq' - qp'$ près commun à ses deux termes) lorsque, dans l'équation des lignes $S_i$, on remplace $ds$, $ds'$ respectivement par K et K'.

En ce qui concerne ces lignes elles-mêmes $S_i$ aussi bien que leurs complémentaires $S_j$, nous ferons observer qu'on peut les déduire individuellement des rapports (94) et (96) en posant pour condition qu'ils soient indépendants de $\frac{p'}{q'}$.

3° Examinons le cas particulier où l'on aurait $K' = 0$.

Le double système des lignes précédentes se présente alors sous la forme simple

$$(S_i)\quad \begin{cases} (p'\sin i - q'\cos i)\,ds + (q'\sin i + p'\cos i)\,ds' = 0, \\ (q\sin i + p\cos i)\,ds + (q'\sin i + p'\cos i)\,ds' = 0. \end{cases}$$

$$(S_j)\quad \begin{cases} (q\sin i + p'\cos i)\,ds - (p'\sin i - q'\cos i)\,ds' = 0, \\ (p\sin i - q\cos i)\,ds + (p'\sin i - q'\cos i)\,ds' = 0. \end{cases}$$

Or, on observe que les premières lignes définies par chacun de ces deux systèmes sont *à angle droit*, tandis que les secondes *coïncident* entre elles et avec la bissectrice $ds + ds' = 0$.

Au surplus, le rapport $\frac{K'}{K} = \operatorname{tg}\alpha$ se réduisant ici à $-\frac{p}{p'}$ ou à $-\frac{q}{q'}$, l'équation du plan $\Pi$ peut s'écrire indifféremment

$$pX + p'Y = 0 \qquad \text{ou} \qquad qX + q'Y = 0;$$

et comme ce sont là deux formes équivalentes de l'équation de la tangente à l'une des deux lignes de courbure ou des deux lignes asymptotiques, actuellement coïncidentes, de la pseudo-surface $\mathfrak{F}'$, il s'ensuit que le plan $\Pi$ se confond avec celui des deux plans focaux optiques ou anoptiques relatifs à OZ dont les traces coïncident. — Ce dernier résultat est à rapprocher de la formule (P) du n° 29.



Digitized by Google

**NOTE I. — Autre méthode pour déterminer (simultanément) le plan de polarisation d'un rayon donné et le connexe de ce plan.**

—

Reportons-nous au cône général moyen de Malus $C_i$ ou (22). Son plan tangent (23) ayant pour équation

$$\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}} = -\frac{B'_1 \sin i - B_2 \cos i}{B_2 \sin i + B'_1 \cos i},$$

on voit que le cône sera tangent au plan des $\mathbf{xz}$ ou au plan des $\mathbf{yz}$, selon que l'on aura

$$\frac{\sin i}{B_2} = \frac{\cos i}{B'_1} \quad \text{ou bien} \quad \frac{\sin i}{B'_1} = \frac{\cos i}{-B_2}.$$

Introduisons successivement ces hypothèses dans l'équation (22). Si l'on observe que, eu égard à la relation $B''_1 + B''_2 = 2B''$ et aux notations du n° 11, on a identiquement

$$A\,B'_1 + B''_1 B_2 = \mathfrak{L} - \mathfrak{K}$$
$$A' B_2 + B'_1 B''_2 = \mathfrak{L}' - \mathfrak{K}',$$

le cône $C_i$ prendra l'une ou l'autre des formes

$$\mathfrak{K}'\mathbf{x}^2 - (\mathfrak{L}' - \mathfrak{K}')\mathbf{y}^2 - \mathfrak{L}''\mathbf{yz} - \mathfrak{L}\mathbf{xy} = 0,$$
$$(\mathfrak{L} - \mathfrak{K})\mathbf{x}^2 - \mathfrak{K}\mathbf{y}^2 + \mathfrak{L}''\mathbf{zx} + \mathfrak{L}'\mathbf{xy} = 0,$$

ce qu'on peut aussi écrire

$$\mathfrak{K}'(\mathbf{x}^2 + \mathbf{y}^2) - (\mathfrak{L}\mathbf{x} + \mathfrak{L}'\mathbf{y} + \mathfrak{L}''\mathbf{z})\mathbf{y} = 0,$$
$$\mathfrak{K}\,(\mathbf{x}^2 + \mathbf{y}^2) - (\mathfrak{L}\mathbf{x} + \mathfrak{L}'\mathbf{y} + \mathfrak{L}''\mathbf{z})\mathbf{x} = 0,$$

d'où, par combinaison,

$$(\mathfrak{K}'\mathbf{x} - \mathfrak{K}\mathbf{y})\,(\mathfrak{L}\mathbf{x} + \mathfrak{L}'\mathbf{y} + \mathfrak{L}''\mathbf{z}) = 0.$$

Égalant à zéro chacun des facteurs, on obtient, comme nous l'avons annoncé, et l'équation du plan de polarisation $\Pi$ de $O\mathbf{z}$ ou OL, et celle du connexe $\Xi$ de ce plan (n° 11).

Ajoutons que le cône complémentaire $C_j$ conduirait, par une marche analogue, au *même* résultat.

Digitized by Google

## NOTE II. — Sur la double série des cônes supplémentaires ou polaires de Malus.

—

On a pu remarquer (n$^{os}$ 12 et 28) que la considération de tels cônes ne manque pas d'intérêt, tant au point de vue physique qu'au point de vue géométrique. C'est pourquoi on nous saura gré sans doute d'en faire connaître ici les équations générales.

1° Le cône proprement dit de Malus pouvant, comme nous l'avons vu (n° 1), s'écrire

$$(\mu d\nu - \nu d\mu)X + (\nu d\lambda - \lambda d\nu)Y + (\lambda d\mu - \mu d\lambda)Z = 0,$$

avec

$$\frac{d\lambda}{dS} = \frac{\partial\lambda}{\partial s}X + \frac{\partial\lambda}{\partial s'}Y + \frac{\partial\lambda}{\partial s'}Z,$$

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

si l'on convient de faire, pour abréger,

$$\begin{vmatrix} \mu & \nu \\ \frac{\partial\mu}{\partial s} & \frac{\partial\nu}{\partial s} \end{vmatrix} = \left(\mu\frac{\partial\nu}{\partial s}\right),$$

. . . . . . . . . . . . . . . . . .

le calcul habituel de tout cône supplémentaire appliqué au cône précédent donnera sous forme de déterminant symétrique :

$$(1)\quad \begin{vmatrix} 2\left(\mu\frac{\partial\nu}{\partial s}\right) & \left(\nu\frac{\partial\lambda}{\partial s}\right)+\left(\mu\frac{\partial\nu}{\partial s'}\right) & \left(\lambda\frac{\partial\mu}{\partial s}\right)+\left(\mu\frac{\partial\nu}{\partial s'}\right) & X \\ \left(\nu\frac{\partial\lambda}{\partial s}\right)+\left(\mu\frac{\partial\nu}{\partial s'}\right) & 2\left(\nu\frac{\partial\lambda}{\partial s'}\right) & \left(\lambda\frac{\partial\mu}{ds'}\right)+\left(\nu\frac{\partial\lambda}{\partial s'}\right) & Y \\ \left(\lambda\frac{\partial\mu}{\partial s}\right)+\left(\mu\frac{\partial\nu}{\partial s'}\right) & \left(\lambda\frac{\partial\mu}{\partial s}\right)+\left(\nu\frac{\partial\lambda}{\partial s'}\right) & 2\left(\lambda\frac{\partial\mu}{\partial s'}\right) & Z \\ X & Y & Z & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

A peine est-il besoin d'ajouter que les dérivées partielles qui y figurent devront être remplacées par leurs valeurs (1′), savoir :

$$\frac{\partial\lambda}{\partial s} = q\nu - r\mu.$$

. . . . . . . . . . . . . .

Digitized by Google

2° L'orthogonal du cône de Malus ayant, de son côté (n° 1), pour équation

$$X d\lambda + Y d\mu + Z d\nu = 0,$$

celle du supplémentaire mise sous la forme d'un déterminant qui se trouve être symétrique, lui aussi, sera

$$(2)\qquad \begin{vmatrix} 2\frac{\partial\lambda}{\partial s} & \frac{\partial\mu}{\partial s}+\frac{\partial\lambda}{\partial s'} & \frac{\partial\nu}{\partial s}+\frac{\partial\lambda}{\partial s'} & X \\ \frac{\partial\mu}{\partial s}+\frac{\partial\lambda}{\partial s'} & 2\frac{\partial\mu}{\partial s'} & \frac{\partial\mu}{\partial s'}+\frac{\partial\nu}{\partial s'} & Y \\ \frac{\partial\nu}{\partial s}+\frac{\partial\lambda}{\partial s'} & \frac{\partial\mu}{\partial s'}+\frac{\partial\nu}{\partial s'} & 2\frac{\partial\nu}{\partial s'} & Z \\ X & Y & Z & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

3° Quant aux deux séries supplémentaires ou polaires de celles des cônes de Malus dits moyens ou complémentaires, des considérations identiques à celles développées (III, n° 16) prouveront que, sous forme abrégée, leurs équations respectives sont

$$(3)\qquad \begin{cases} \mathfrak{S}_1 \sin i + \mathfrak{S}_2 \cos i = 0, \\ \mathfrak{S}_1 \cos i - \mathfrak{S}_2 \sin i = 0, \end{cases}$$

en désignant au signe près par $\mathfrak{S}_1$ et $\mathfrak{S}_2$ les premiers membres des équations (1) et (2).

Digitized by Google

# SUR
## LE
# DOSAGE DU TANNIN

PAR M. J. LABORDE,
PRÉPARATEUR A LA STATION AGRONOMIQUE DE BORDEAUX.

## PREMIÈRE PARTIE.
### Méthodes générales.

I

On désigne sous le nom de *tannin* beaucoup de corps de compositions chimiques différentes, mais qui possèdent les principales propriétés du gallotannin, ou tannin de la noix de galle, telles que : saveur astringente, combinaison insoluble avec certains oxydes métalliques et avec la gélatine, absorption par les tissus animaux.

De tous les procédés imaginés pour le dosage de ces corps, ceux qui reposent sur cette dernière propriété donnent les résultats les plus exacts; tels sont les procédés de MM. Hammer, Müntz et Ramspacher, Aimé Girard; mais ils nécessitent l'emploi de matières animales (peau râpée ou fraîche, cordes de boyaux préparées d'une façon spéciale), qui rendent leur application souvent difficile.

J'ai recherché une méthode purement chimique, qui, tout en ayant au moins la même précision, fût d'une application plus commode; celle que je propose est fondée sur la précipitation du tannin par l'oxyde de mercure.

II

La liqueur mercurique servant à précipiter le tannin s'obtient de la manière suivante. On fait dissoudre 30 grammes



Digitized by Google

d'acétate de mercure dans 300 centimètres cubes d'eau; on ajoute 160 centimètres cubes d'acide acétique cristallisable et 480 centimètres cubes d'ammoniaque à 22°; après refroidissement, on complète le volume à un litre.

Lorsqu'on verse de cette liqueur acéto-mercurique ammoniacale dans une dissolution de tannin pur, celui-ci est entièrement précipité; le poids de ce précipité, qui, convenablement traité, présente une composition constante, permet de connaître la quantité de tannin qu'il renferme.

Pour pratiquer la précipitation du tannin, on opère de la façon suivante : On prend un volume de dissolution aqueuse de tannin contenant un poids de ce corps voisin de $0^{gr},2$; on l'introduit dans un ballon de 200 centimètres cubes avec 5 centimètres cubes d'éther sulfurique et 20 centimètres cubes de liqueur acéto-mercurique, puis on complète le volume. On agite vivement pendant un instant et on filtre; le liquide filtré est incolore ou très légèrement coloré et reste limpide; il contient encore une certaine quantité de sel mercurique non décomposé.

Dans cette précipitation, si on veut opérer sur des proportions de tannin différentes de $0^{gr},2$, on doit faire varier, dans les rapports indiqués, le volume des liqueurs employées et le volume total du mélange.

Le précipité de tannate de mercure est lavé deux ou trois fois avec de l'eau éthérée froide, puis on le fait tomber, encore humide, dans une capsule de platine, à l'aide d'un jet d'eau tiède qui le détache facilement du filtre; on a ainsi du tannate de mercure pur en suspension dans l'eau.

Pour le peser, il suffit de le dessécher, mais pour éviter toute décomposition, il est bon d'opérer entièrement dans le vide.

Pour doser le mercure que renferme le précipité, on traite ce précipité dans la capsule même par l'acide azotique concentré et chaud, qui le dissout; on transvase dans un vase de Bohême conique ou dans un ballon, et l'on chauffe pour détruire la

Digitized by Google

matière organique et évaporer la majeure partie de l'acide; on termine cette destruction par l'addition d'une petite pincée de chlorate de potasse.

On détruit les oxydes de chlore formés en ajoutant un peu d'acide chlorhydrique; on laisse dégager les vapeurs rutilantes en chauffant légèrement, puis on ajoute de l'eau, et l'on chauffe de nouveau pour faciliter le départ du chlore; on laisse ensuite refroidir.

Dans cette opération, le mercure, complètement débarrassé du tannin, est transformé en sel mercurique, et peut alors être dosé par le procédé volumétrique que j'ai indiqué [1].

Pour cela, on sature les acides libres par l'ammoniaque après addition d'acétate d'ammoniaque, on acidifie la liqueur avec 5 centimètres cubes d'acide acétique à 10 0/0, et on ajoute la liqueur titrée de protochlorure d'étain jusqu'à l'apparition de la couleur brune caractéristique de la fin de la réaction; du volume employé, on déduit la quantité de mercure que contenait le précipité.

Cette opération a été répétée sur plusieurs précipités obtenus avec des poids connus et constants de gallotannin pur; en calculant à l'état d'oxyde mercurique les poids de mercure trouvés, on a obtenu les chiffres suivants, qui montrent qu'en retranchant ces poids d'oxyde des poids de tannate de mercure, on retrouve parfaitement les quantités de tannin employées.

| POIDS de tannin. | POIDS des précipités. | POIDS d'oxyde de mercure. | TANNIN par différence. |
|---|---|---|---|
| 0,150 | 0,355 | 0,205 | 0,150 |
| 0,150 | 0,351 | 0,202 | 0,149 |
| 0,150 | 0,352 | 0,203 | 0,149 |
| 0,150 | 0,354 | 0,203 | 0,151 |

La constance de ces résultats prouve que la méthode est exacte, et que le tannate de mercure obtenu, desséché comme

(1) *Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 1892. — *Journal de pharmacie et de chimie*, mai 1893.

Digitized by Google

il a été dit, est constitué par du tannin et de l'oxyde de mercure; sa composition centésimale, déduite de la moyenne des résultats ci-dessus, est alors la suivante :

| | |
|---|---|
| Tannin................. | 42,49 |
| Oxyde de mercure....... | 57,50 |
| | 99,99 |

d'où il résulte que 1 gramme de tannin se combine à 1gr,35 d'oxyde de mercure.

Avec cette relation, on pourra trouver la quantité de tannin que renferme un poids quelconque de tannate de mercure desséché dans le vide; comme contrôle, on dosera l'oxyde de mercure comme il a été dit plus haut, et l'on aura le tannin par différence.

III

La dessiccation du tannate de mercure dans le vide est longue et incommode pour la pratique; il serait plus avantageux de pouvoir la faire à l'étuve aux environs de 100°; mais, dans ces conditions, le tannate de mercure n'a plus la composition trouvée précédemment. Ainsi, si après l'avoir desséché dans le vide, on le porte à l'étuve à 105°, on constate qu'il perd de son poids, et d'autant plus que le séjour est plus prolongé. Si on dose alors le mercure qu'il contient, on trouve par différence des chiffres variables pour un même poids connu de tannin, et sans relation déterminée avec la proportion indiquée plus haut.

Cela tient à ce que, desséché à 105°, le tannate de mercure se décompose et perd une certaine quantité de mercure qui se dégage en vapeurs. On peut le constater en desséchant le précipité dans un tube à essai, dont les parois se recouvrent de fines gouttelettes de mercure condensé; toutefois celui-ci ne se dégage jamais intégralement du précipité.

Nous allons montrer que, malgré cette décomposition partielle, lorsqu'on opère sur des poids connus de tannin, on

Digitized by Google

retrouve parfaitement la quantité de substance employée, en retranchant du poids du précipité, le poids du mercure métallique qui reste.

Ainsi, quatre essais faits sur des poids de tannin constants et égaux à 0gr152, ont été menés parallèlement jusqu'à l'évaporation de la plus grande partie de l'eau au bain-marie, puis les capsules ont été portées à l'étuve à 105° où elles ont séjourné des temps respectivement égaux à 2, 4, 6 et 14 heures. Après avoir pesé le précipité et déterminé le mercure restant, on a obtenu les résultats suivants.

| SÉJOUR à l'étuve. | POIDS DE TANNIN employés. | POIDS des précipités. | POIDS DE MERCURE trouvés. | TANNIN par différence. |
|---|---|---|---|---|
| 2 heures. | 0gr152 | 0gr242 | 0gr092 | 0gr150 |
| 4 id. | 0 152 | 0 233 | 0 082 | 0 151 |
| 6 id. | 0 152 | 0 221 | 0 071 | 0 150 |
| 14 id. | 0 152 | 0 200 | 0 051 | 0 149 |

On voit que la concordance est parfaite entre les poids de tannin employés et les poids retrouvés, malgré la quantité variable de mercure restant dans le précipité; il résulte de cette concordance même que ce précipité, desséché aux environs de 100°, est un mélange de tannin et de mercure métallique.

Si maintenant on prend un précipité de tannate de mercure desséché dans le vide, et qu'on le porte à l'étuve à 105°, en ayant soin de retenir le mercure qui se volatilise sur du soufre taré, on lui trouve la composition suivante :

| | RÉSULTATS DE L'ESSAI. | COMPOSITION CENTÉSIMALE. |
|---|---|---|
| Perte à 105°.... | 0,035 | 5,29 |
| Mercure........ | 0,349 | 52,72 |
| Tannin........ | 0,278 | 41,99 |
| | 0,662 | 100,00 |

D'après ces résultats et ceux de la page 231, le calcul indique que la composition du précipité avant sa décomposition par la chaleur peut être représentée très sensiblement par la

Digitized by Google

formule $C^{28}H^{6}Hg^{4}O^{18} + 4HO$ ou bien $C^{28}H^{10}O^{18},4HgO$. Aux environs de 100° et surtout à 105°, ce corps se décompose; il se dégage de l'eau et le mercure passe à l'état métallique. Par suite, il reste probablement du tannin déshydrogéné; mais cette perte d'hydrogène, qui n'est que de 1 0/0 du poids du mercure, est du même ordre de grandeur que les erreurs d'expérience. On pourra donc pratiquement remplacer la dessiccation du tannate du mercure dans le vide par celle à l'étuve à 105°; mais alors, après avoir pesé le précipité, il faudra toujours déterminer la quantité de mercure qu'il contient pour avoir par différence le poids de tannin. Ce procédé de dosage sera désigné, par la suite, sous le nom de *procédé par pesée.*

III

On vient de voir que le procédé de dosage par pesée est exact, bien qu'un peu long; mais en employant une méthode indirecte et entièrement *volumétrique,* on peut arriver à connaître très rapidement la quantité d'oxyde de mercure combinée dans un précipité de tannate de mercure, et par suite, le poids de tannin qui y correspond.

En effet, si dans la précipitation du tannin effectuée comme on l'a dit on connaît exactement : 1° la quantité d'oxyde de mercure contenue dans les 20 centimètres cubes de liqueur acéto-mercurique; 2° la quantité d'oxyde de mercure qui reste dans le liquide filtré, la différence donnera la quantité d'oxyde de mercure combinée au tannin.

Ces données s'obtiennent très facilement et avec beaucoup de précision, en employant le procédé de dosage volumétrique du mercure dont nous avons fait usage précédemment.

Pour avoir le titre en oxyde de mercure de la liqueur acéto-mercurique, on en prend 10 centimètres cubes, on ajoute 5 centimètres cubes d'acide acétique à 10 0/0 et 50 centimètres cubes d'eau, puis la liqueur titrée de protochlorure d'étain.

On titre l'oxyde de mercure restant dans le liquide filtré en prenant la moitié du volume total et ajoutant la liqueur de

Digitized by Google

SnCl dans le liquide rendu acide par l'acide acétique. Le volume de liqueur d'étain employé permet de calculer la quantité de HgO contenue dans l'essai; on le rapporte ensuite au volume total.

Supposons, par exemple, qu'on opère sur une solution de tannin pur à 10 grammes par litre, dont on a pris 20 centimètres cubes, soit $0^{gr},2$ de tannin, qu'on précipite par 20 centimètres cubes de liqueur acéto-mercurique contenant $0^{gr},380$ d'oxyde de mercure. Après avoir complété le volume à 200 centimètres cubes et filtré, on trouve après titrage sur 100 centimètres cubes qu'il reste $0^{gr},055$ d'oxyde de mercure, soit $0^{gr},110$ pour les 200 centimètres cubes. La quantité d'oxyde de mercure qui s'est combinée au tannin est donc de $0^{gr},380 - 0^{gr},110 = 0^{gr},270$. D'où : 1 gramme de tannin se combine à $1^{gr},35$ d'oxyde de mercure, chiffre identique à celui qui avait été déterminé par la méthode en poids.

Il est essentiel, pour obtenir toujours ce résultat, d'opérer la précipitation du tannin exactement comme elle a été indiquée; après un moment d'agitation dans le ballon, le précipité a acquis sa composition normale, et on peut filtrer immédiatement. Il faut même éviter d'attendre trop, car une certaine quantité de HgO pourrait être retenue par le précipité; dans ce cas, on l'en débarrasse par des lavages avec de l'eau éthérée contenant de l'acétate d'ammoniaque, et on réunit ces eaux de lavage au liquide filtré pour titrer l'oxyde de mercure restant.

---

# DEUXIÈME PARTIE.

## Dosage du tannin dans les matières tannifères.

---

### I

Nous avons vu que le procédé de dosage du tannin par pesée donne d'excellents résultats dans le cas du gallotannin pur;

Digitized by Google

voyons maintenant si, dans le cas des diverses matières tannifères, les résultats du dosage de leur matière tannante sont aussi satisfaisants.

Pour cela, nous allons les comparer à ceux qu'on obtient à l'aide du tannomètre de MM. Müntz et Ramspacher, procédé sensiblement exempt de causes d'erreurs; les résultats sont consignés ci-dessous :

| ÉCHANTILLONS | TANNIN TROUVÉ | |
|---|---|---|
| | AVEC LE TANNOMÈTRE. | PAR LE PROCÉDÉ EN POIDS. |
| Noix de galles | 55,00 % | 56,00 % |
| Écorce de chêne | 8,10 | 8,10 |
| Extrait de châtaignier | 29,75 | 30,00 |
| Extrait de quebracho | 60,60 | 61,30 |
| Écorce de calliandra | 14,00 | 14,10 |
| Bora-Bora | 27,00 | 27,20 |
| Sumac | 21,00 | 21,70 |
| Cachou | 46,20 | 46,80 |

On voit que les chiffres relatifs à un même produit sont peu différents; ceux obtenus par le tannomètre sont cependant un peu inférieurs aux autres parce que l'absorption du tannin par certains échantillons de peau n'est pas toujours parfaite, et qu'on peut encore obtenir les réactions du tannin dans la liqueur filtrée à travers la peau; mais en somme les deux procédés sont très comparables, et l'on peut pratiquement substituer l'un à l'autre.

## II

Nous avons établi que la méthode volumétrique peut avantageusement remplacer la méthode en poids lorsqu'il s'agit du tannin pur; il en est de même pour les autres matières tanniques, à la condition de tenir compte des observations suivantes :

Les expériences précédentes ont montré que 1 gramme de tannin pur se combine à 1gr,35 d'oxyde de mercure; or cette quantité de HgO, que nous appellerons capacité de combinaison du tannin pur avec l'HgO, n'est pas nécessairement la

Digitized by Google

même pour tous les autres tannins contenus dans les diverses matières tannifères; on devra donc, si on veut appliquer à celles-ci la méthode volumétrique, déterminer tout d'abord leur capacité de combinaison propre.

Pour cela, après avoir préparé une dissolution de la matière tannique considérée, on pratique un dosage par la méthode en poids et on a ainsi le titre de cette dissolution; il est alors facile de prendre un poids connu de cette matière tannique, de le précipiter comme si c'était du tannin pur, et de déterminer par la méthode volumétrique la quantité de HgO qui s'y est combinée. On déduit ensuite le poids d'oxyde de mercure qui correspond à 1 gramme de tannin.

C'est en procédant ainsi qu'on a obtenu, pour un certain nombre de matières tannifères, les chiffres du tableau suivant.

Si on rapporte à la capacité du gallotannin celle de la matière tannique contenue dans chaque matière tannifère, on obtient une série de nombres formant la 3e colonne du tableau, dont chaque terme indique l'équivalence en gallotannin de la matière tannique considérée.

Le chiffre qui représente cette équivalence ne doit pas être pris comme une valeur absolue, puisqu'il est relatif à une réaction particulière; il ne serait pas nécessairement le même pour une réaction différente.

| ÉCHANTILLONS | QUANTITÉS DE HgO combiné à 1 gr. de tannin. | ÉQUIVALENCE en gallotannin. |
|---|---|---|
| Tannin pur | 1,35 | 1,00 |
| Noix de galles | 1,35 | 1,00 |
| Cachou jaune | 1,35 | 1,00 |
| Sumac | 1,35 | 1,00 |
| Bora-Bora | 1,35 | 1,00 |
| Écorce de chêne | 1,45 | 1,08 |
| Extrait de châtaignier | 1,45 | 1,08 |
| Galles françaises | 1,45 | 1,08 |
| Écorce de calliandra | 0,65 | 0,49 |
| Extrait de quebracho | 0,65 | 0,49 |
| Cachou noir | 0,65 | 0,49 |

On voit que ces chiffres diffèrent assez notablement les uns

Digitized by Google

des autres; comme ils résultent d'essais concordants faits sur des échantillons variés de chaque matière, ils peuvent être considérés comme caractérisant respectivement chacune de ces matières.

Avec ces coefficients, on peut appliquer la méthode purement volumétrique et connaître très rapidement le titre des dissolutions provenant d'échantillons quelconques des matières étudiées.

## III

Les nombres qu'on vient de donner sont tous relatifs aux tannins solubles dans l'eau froide, et à ce propos, il est bon de dire comment on obtient une dissolution de tannin propre au dosage.

L'épuisement des matières tannifères se faisant toujours par l'eau chaude, on sait qu'avec certains produits tels que l'extrait de quebracho, le cachou, etc., la dissolution se trouble par refroidissement en laissant déposer des tannins résinoïdes insolubles dans l'eau froide; la filtration est alors très longue, mais l'état de la dissolution ne change plus.

Avec d'autres produits comme la noix de galle ou le sumac, la dissolution ne se trouble pas immédiatement après refroidissement, mais après un repos suffisant dans un endroit frais, on constate un dépôt assez abondant, formé probablement de tannins résinoïdes et de corps pectiques. Il est évident que, pour obtenir des résultats constants, on ne doit, dans ces cas, pratiquer le dosage du tannin qu'après la séparation de ces dépôts.

En été, la clarification des solutions de tannin est assez longue. On peut alors employer avec avantage la méthode de Lowe qui consiste à évaporer à sec la dissolution de tannin avec un peu d'acide acétique, et reprendre par l'eau. On obtient ainsi des liqueurs qui précipitent ensuite très peu par le repos.

Digitized by Google

## IV

Jusqu'ici, on n'a considéré que des cas où les dissolutions de tannin étaient exemptes d'acide gallique; mais il peut arriver que les matières tannifères en contiennent, soit naturellement, soit à la suite d'une fermentation partielle du tannin.

Comme lui, l'acide gallique est précipité par la liqueur acéto-mercurique, et, quoiqu'il le soit avec moins de facilité, sa présence constitue une cause d'erreurs dans le dosage du tannin effectué comme on l'a indiqué; cependant cette présence se décèle toujours d'elle-même.

En effet, avec le tannin seul, le liquide de filtration du précipité est le plus souvent incolore ou à peine coloré, tandis que, s'il y a de l'acide gallique, il est coloré en rouge plus ou moins intense suivant la proportion existante, et il ne tarde pas à se troubler fortement en donnant par la suite un précipité abondant.

Ce fait est dû à ce que, dans les conditions où l'on opère, le gallate de mercure est beaucoup plus long à se former que le tannate, surtout en présence de ce dernier, qui absorbe d'abord la majeure partie de l'HgO; toutefois on ne peut éviter sa formation partielle.

Il n'existe pas de procédé vraiment pratique et exact pour séparer le tannin de l'acide gallique dans un dosage; l'acétate de zinc ammoniacal pas plus que la poudre de peau ne peuvent opérer cette séparation d'une manière satisfaisante.

Le procédé suivant, sans être d'une rigueur absolue, permet cependant de trouver avec une certaine approximation et d'une manière pratique, les proportions d'un mélange de ces deux corps si voisins dans leurs propriétés.

Il est fondé d'abord sur cette remarque que le tannin est précipité en grande partie dans une solution d'acétate d'ammoniaque légèrement alcaline et contenant un peu de chaux, tandis que l'acide gallique reste entièrement dissous.

Digitized by Google

Pour avoir une séparation plus complète, on opère de la manière suivante :

On mesure 50 centimètres cubes d'une solution d'acétate d'ammoniaque à 10 0/0 que l'on introduit dans un ballon de 200 centimètres cubes ; on ajoute 20 centimètres cubes de la solution à essayer, amenée à contenir environ 10 grammes par litre du mélange des deux acides, puis 25 centimètres cubes d'eau de chaux et 3 centimètres cubes de liqueur acéto-mercurique ; enfin, on complète le volume, et, après agitation violente, on laisse reposer environ deux heures. Au bout de ce temps on filtre, on laisse bien égoutter le précipité sans le laver afin de ne pas le décomposer, puis on le fait passer dans une fiole de 150 centimètres cubes avec un jet d'eau froide, après avoir percé le filtre.

Le tannin se trouve alors redissous en grande partie, et l'on peut pratiquer son dosage par la méthode volumétrique comme s'il l'était entièrement, en tenant compte de la quantité de HgO ajoutée dans la première opération, et qui a été entièrement retenue dans le précipité. Connaissant le poids total du mélange, le poids d'acide gallique est obtenu par différence.

Si la proportion de tannin que l'on trouve est supérieure à 75 0/0 du poids du mélange, on recommence la séparation avec 5 centimètres cubes de liqueur acéto-mercurique ; on en emploiera 4 centimètres cubes si on trouve 75 0/0 et au-dessous, et, pour une proportion voisine de 50 0/0, on opérera comme la première fois, mais en portant le volume total à 300 centimètres cubes pour diluer davantage la solution d'acide gallique qui imprègne le précipité de tannin.

C'est par cette méthode que nous avons trouvé les résultats suivants sur des mélanges connus d'acide gallique et de tannin :

| POIDS TOTAL du mélange. | TANNIN. | ACIDE GALLIQUE. | TANNIN TROUVÉ. | ACIDE GALLIQUE par différence. |
|---|---|---|---|---|
| 0,180 | 0,180 | » | 0,175 | » |
| 0,182 | 0,162 | 0,020 | 0,157 | 0,025 |
| 0,184 | 0,144 | 0,040 | 0 142 | 0,042 |
| 0,180 | 0,090 | 0,090 | 0,100 | 0,080 |

Digitized by Google

Pour un mélange inconnu, on détermine d'abord par la méthode en poids le poids total de tannin et d'acide gallique en les précipitant tous les deux par la liqueur acéto-mercurique.

Ordinairement, dans les mélanges naturels de tannin et d'acide gallique, c'est le premier qui est en proportion plus forte, de sorte que celle de 50 0/0 peut être considérée comme un cas extrême.

## V

Il est utile de comparer les résultats du tableau de la page 236 avec ceux qu'on obtient par les autres méthodes chimiques les plus ordinairement employées, et qui ont pour base l'oxydation du tannin par le permanganate de potasse.

Ce sont : la méthode Lowenthal, où l'on fait agir le permanganate directement sur la solution de tannin en présence de l'indigo, et la méthode Caperni, où l'on pratique la précipitation préalable du tannin par l'acétate de zinc ammoniacal et le titrage au permanganate à chaud après dissolution du précipité dans l'acide sulfurique faible. Le tableau suivant donne les chiffres obtenus :

| ÉCHANTILLONS | TANNIN TROUVÉ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | AVEC LE TANNOMÈTRE. | PAR LA MÉTHODE à l'oxyde de mercure. | PAR LA MÉTHODE LOWENTHAL. | PAR LA MÉTHODE CAPERNI. |
| Noix de galles ....... | 55,00 °/o | 56,00 °/o | 59,40 °/o | 57,15 °/o |
| Écorce de chêne ..... | 8,10 | 8,10 | 8,80 | 9,12 |
| Extrait de châtaignier. | 29,75 | 30,00 | 27,80 | 30,70 |
| Extrait de quebracho. | 60,60 | 61,30 | 54,00 | 66,50 |
| Écorce de calliandra.. | 14,00 | 14,10 | 7,20 | 10,30 |
| Bora-Bora ........... | 27,00 | 27,20 | 24,50 | 31,60 |
| Sumac .............. | 21,00 | 21,70 | 20,40 | 22,40 |
| Cachou noir ......... | 46,20 | 46,80 | 30,25 | » |

Ce tableau montre que si le dosage du tannin par le procédé à l'HgO donne les mêmes résultats que par le tannomètre, il n'en est pas de même des méthodes basées sur l'emploi du permanganate de potasse. L'écart est d'autant plus grand qu'on opère sur des matières plus éloignées de celles qui contiennent

Digitized by Google

du gallotannin. C'est ainsi, par exemple, que pour l'écorce de calliandra, il peut atteindre 50 0/0 du poids réel de la matière tannique.

Cela s'explique par le manque de précision des méthodes, mais aussi parce que les matières dosées ne sont pas du gallotannin pur, et que les liqueurs d'épreuve sont titrées avec ce dernier corps.

Les dosages effectués par le permanganate ne donnent donc pas le poids absolu des matières tanniques, et, de plus, comme le montrent les chiffres du tableau, ils conduisent pour la même substance à des nombres tout à fait discordants.

Les causes diverses des discordances de ces méthodes étant suffisamment connues de tous les opérateurs, il est inutile d'y insister davantage (1).

---

## TROISIÈME PARTIE.

### Dosage des matières astringentes des jus naturels, fermentés et non fermentés.

---

#### I

Le vin, et spécialement le vin rouge, est de tous les liquides naturels celui qui contient le plus de matières astringentes; on sait que les œnologues et les hygiénistes attachent une grande importance à la détermination de ces matières, et qu'un grand nombre de procédés ont été imaginés pour les

(1) Dans un travail paru récemment (*Bulletin de la Société Chimique,* 3e série, t. LXXVIII, 1893), M. Sisley recommande le titrage du tannin par la méthode Lowenthal, après précipitation par la méthode Caperni légèrement modifiée. Il veut ainsi ne doser que le tannin, en laissant de côté l'acide gallique et les matières colorantes. Or, il n'est pas rationnel de vouloir, dans le dosage du tannin, éliminer ces matières colorantes, d'ailleurs très voisines des tannins ordinaires et jouant un rôle au moins égal au leur dans le tannage des peaux. (Voir *Chimie Industrielle* de Wagner, Fischer et Gautier.)

Digitized by Google

doser. De tous ces procédés, celui de M. Aimé Girard donne seul d'assez bons résultats, mais il est d'une application difficile.

Notre méthode de dosage par la liqueur acéto-mercurique donne au contraire rapidement des résultats très exacts.

Pour cette application spéciale, la liqueur acéto-mercurique a la composition suivante :

| | |
|---|---|
| Acétate de mercure.......... | 20 grammes. |
| Acétate d'ammoniaque........ | 100 — |
| Eau, quantité suffisante pour... | 1 litre. |

Voici comment on procède :

Pour le vin rouge, on prend 50 centimètres cubes de liquide qui sont étendus d'une quantité égale d'eau, et on sature la plus grande partie de l'acidité avec de l'ammoniaque diluée; on ajoute ensuite 20 centimètres cubes de liqueur acéto-mercurique, et on complète le volume à 200 centimètres cubes. Après avoir agité vivement et laissé au repos quelques minutes, on filtre; la filtration se fait en général assez facilement et le liquide qui passe est parfaitement incolore.

Pour les autres liquides, fermentés ou non, plus pauvres en tannin que le vin rouge, tels que vin blanc, cidre ou poiré, moût de raisins ou de pommes, eaux-de-vie vieillies en fût, on en prend 100 centimètres cubes, on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution d'acétate d'ammoniaque à 10 0/0 et 10 centimètres cubes seulement de liqueur acéto-mercurique. Cela revient à employer une liqueur mercurique moitié plus faible en oxyde que la précédente.

Le précipité est ici plus lent à se former que dans le vin rouge à cause de la dilution des matières tanniques, aussi doit-on le laisser reposer un quart d'heure pour le vin blanc, le moût de raisin et les eaux-de-vie, et une demi-heure pour le cidre et le moût de pommes, afin que la filtration puisse être complète et facile.

Dans tous les cas le précipité est traité comme il a été dit pour le tannin pur, afin de connaître son poids total, la

Digitized by Google

quantité de mercure qu'il contient, et, par différence, le poids cherché de matière astringente.

Pendant la précipitation des matières astringentes, il n'y a pas à craindre qu'elles entraînent autre chose avec elles. En effet, aucun des acides minéraux ou organiques ordinairement contenus dans le vin, ni les matières gommeuses, ne donnent de précipité avec la liqueur acéto-mercurique.

Il en est de même des matières azotées; quant aux matières pectiques, dont la présence est admise par quelques auteurs dans le vin et dans le cidre, elles s'y trouvent en si petite quantité, qu'il n'y a pas, en général, lieu de s'en préoccuper. Toutefois, si on traite un liquide qui en soit exceptionnellement chargé, il faut alors s'en débarrasser, parce que l'acide pectique serait précipité en même temps que les matières tanniques.

Pour cela, il suffit d'ajouter à ce liquide un peu de chlorure de calcium, qui insolubilise immédiatement l'acide pectique.

Les moûts de raisins ou de pommes sont plus riches en corps pectiques que les liquides fermentés, mais comme ils sont toujours acides, l'acide pectique et la pectose sont insolubles, bien qu'ils paraissent dissous à cause de leur état gélatineux; la pectine seule existe vraiment dissoute.

Une simple filtration du moût, dilué de 3 ou 4 fois son volume d'eau contenant un peu de chlorure de calcium, éliminera tous ces corps en suspension; la pectine restera, il est vrai, dans le liquide filtré, mais elle est sans inconvénient, car elle n'est pas précipitée par le réactif acéto-mercurique.

Cependant, pour rendre plus facile cette filtration, qui est toujours extrêmement lente, et éliminer en même temps tous les corps pectiques, il est avantageux, avant d'ajouter le chlorure de calcium, d'alcaliniser avec de l'ammoniaque, de faire bouillir quelques minutes, puis d'acidifier avec de l'acide acétique.

## II

Comparé avec le procédé Aimé Girard, le dosage par la liqueur acéto-mercurique des matières astringentes contenues

Digitized by Google

dans divers échantillons de vin, a fourni les résultats du tableau suivant :

| ÉCHANTILLONS | | TANNIN TROUVÉ — PAR LE PROCÉDÉ aux cordes de boyaux. | TANNIN TROUVÉ — PAR LE PROCÉDÉ à l'oxyde de mercure. |
|---|---|---|---|
| | | Par litre. | Par litre. |
| Vins rouges de la Gironde | Médoc 1891 | 3,00 | 3,08 |
| | Id. id. | 2,70 | 3,06 |
| | Graves 1889 | 2,30 | 2,60 |
| | Id. 1891 | 2,55 | 2,54 |
| | Côtes 1891 | 3,85 | 3,96 |
| | Id. 1890 | 3,94 | 4,12 |
| | Id. 1887 | 2,86 | 3,22 |
| | Id. 1884 | 3,75 | 3,84 |
| | Id. 1882 | 3,78 | 3,98 |
| | Palus 1891 | 3,35 | 3,72 |
| | Id. 1891 | 2,90 | 3,04 |
| Vin de l'Hérault | | 1,95 | 2,12 |
| Vins rouges divers. | Algérien 1891 | 2,75 | 2,92 |
| | Id. 1892 | 3,65 | 4,10 |
| | Espagnol 1891 | 4,74 | 4,80 |
| | Id. 1892 | 3,50 | 4,00 |
| | Vin d'Herbemont | 2,36 | 2,80 |
| | Vin de coupage | 2,00 | 2,00 |
| | Vin de débitant | 2,25 | 2,35 |
| Vin blanc de la Gironde | | 0,80 | 0,85 |

On voit que les nombres obtenus par les deux méthodes sont très voisins; cependant ceux du procédé Aimé Girard sont presque toujours plus faibles, parce qu'on ne peut jamais arriver à décolorer complètement le vin, même après un séjour prolongé des cordes de boyaux; cela est vrai surtout pour les vins à acidité un peu forte et généralement pour les vins nouveaux.

## III

Dans les cas qui nous occupent, comme pour les matières tannifères, on peut substituer la méthode purement volumétrique à la méthode en poids, à la condition de connaître préalablement pour chaque variété de liquide la quantité



Digitized by Google

d'oxyde de mercure qui se combine à 1 gramme de la matière astringente dissoute dans ce liquide.

Le tableau suivant donne précisément cette quantité ainsi que les éléments servant à la calculer, savoir, le poids d'HgO trouvé par la méthode volumétrique, et le poids de matière astringente correspondant, trouvé par la méthode en poids. Le rapport de ces deux poids représente le poids cherché.

| ÉCHANTILLONS | | OXYDE DE MERCURE par litre. $a$ | MATIÈRE ASTRINGENTE par litre. $b$ | RAPPORTS. $\frac{a}{b}$ |
|---|---|---|---|---|
| Vins rouges de la Gironde. | Médoc 1891 | 3gr08 | 3gr12 | 0,99 |
| | Id. id. | 3,04 | 3,00 | 1,01 |
| | Id. 1890 | 4,08 | 4,10 | 0,99 |
| | Graves 1892 | 2,78 | 2,72 | 1,03 |
| | Id. 1891 | 2,64 | 2,54 | 1,05 |
| | Id. 1889 | 2,66 | 2,60 | 1,03 |
| | Id. 1873 | 2,64 | 2,62 | 1,01 |
| | Côtes 1890 | 4,10 | 4,12 | 0,99 |
| | Id. 1887 | 3,16 | 3,22 | 0,97 |
| | Id. pasteurisé | 3,20 | 3,20 | 1,00 |
| | Id. 1884 | 3,76 | 3,84 | 0,96 |
| | Id. 1882 | 3,94 | 3,98 | 0,98 |
| | Id. 1891 | 3,96 | 3,92 | 1,02 |
| | Palus 1892 | 3,12 | 3,16 | 0,98 |
| | Id. 1891 | 3,72 | 3,72 | 1,00 |
| | Id. 1890 | 3,06 | 3,04 | 1,01 |
| Vins rouges divers. | Hérault 1890 | 2,04 | 2,12 | 0,96 |
| | Algérien 1891 | 2,90 | 2,92 | 0,99 |
| | Id 1892 | 4,24 | 4,20 | 1,02 |
| | Tunisien 1892 | 3,28 | 3,30 | 0,99 |
| | Espagnol 1891 | 4,76 | 4,80 | 0,98 |
| | Italien 1892 | 5,36 | 5,24 | 1,06 |
| | Id. id. | 5,48 | 5,50 | 0,99 |
| | Autrichien 1892 | 6,30 | 6,30 | 1,00 |
| | Coupage | 2,08 | 2,00 | 1,04 |
| | Vin d'Herbemont | 2,80 | 2,84 | 0,98 |
| | Vin décoloré par l'air. | 0,78 | 0,80 | 0,99 |
| | Vin piqué | 2,44 | 2,40 | 1,02 |
| | Vin tourné (mildiousé) | 1,52 | 1,46 | 1,03 |
| | Vin fortement collé | 1,92 | 1,90 | 1,01 |
| Vins blancs de la Gironde. | Grand vin 1887 | 0,84 | 0,80 | 1,05 |
| | Id. 1891 | 0,70 | 0,70 | 1,00 |
| | Ordinaire 1891 | 0,25 | 0,26 | 0,96 |
| | Id. id. | 0,32 | 0,33 | 0,97 |

Digitized by Google

| ÉCHANTILLONS | | OXYDE DE MERCURE par litre. $a$ | MATIÈRE ASTRINGENTE par litre. $b$ | RAPPORTS $\frac{a}{b}$ |
|---|---|---|---|---|
| Vins blancs divers. | Espagnol | 0,82 | 0,80 | 1,02 |
| | Id. | 0,37 | 0,36 | 1,03 |
| | Turc | 0,54 | 0,55 | 0,98 |
| | Allemand | 0,55 | 0,55 | 1,00 |
| Liquides divers. | Dissolution de pépins. | 2,74 | 2,72 | 1,01 |
| | Moût de raisins | 0,87 | 0,85 | 1,02 |
| | Cognac n° 1 | 0,41 | 0,40 | 1,02 |
| | Id. n° 2 | 0,60 | 0,60 | 1,00 |
| | Eau-de-vie de marc. | 1,15 | 1,16 | 0,99 |
| | Moût de pommes | 0,37 | 0,50 | 0,74 |
| | Cidre | 0,57 | 0,82 | 0,69 |

L'examen de ces chiffres montre que lorsqu'on précipite par l'oxyde de mercure les matières astringentes d'un vin quelconque, quelle qu'en soit l'origine, qu'il soit jeune ou vieux, très coloré ou non, sain ou malade, la combinaison contient des poids égaux d'oxyde de mercure et de matière tannique; il en est de même pour les autres liquides étudiés, sauf pour le moût de pommes et le cidre.

Les résultats étant les mêmes pour les vins rouges que pour les vins blancs, il y a lieu de conclure que les matières colorantes rouges du vin jouissent de la même propriété, vis-à-vis de l'oxyde de mercure, que les matières astringentes ou œnotannins contenues dans les moûts et dans les pépins. La connaissance des rapports établis ci-dessus permet, dans chaque cas, d'appliquer la méthode volumétrique; en somme, il suffit de savoir que, pour les vins quelconques, les moûts de raisins et les eaux-de-vie, le rapport de combinaison de l'HgO avec les matières qu'il précipite est égal à 1, tandis que pour le moût de pommes et le cidre il est de 0,70 seulement.

Pour les liquides de ce premier groupe (moûts de raisin, vins et eaux-de vie), 1 gramme de matière astringente se combine donc à 1 gramme d'HgO, car, d'après ce qu'on a vu plus haut (page 237), 0$^{gr}$,75 seulement de gallotannin se combinent au même poids d'HgO; donc 1 gramme de la matière tannique considérée équivaut à 0$^{gr}$,75 de gallotannin.

Digitized by Google

Appliquant le même raisonnement aux liquides du second groupe (moût de pommes et cidre), on trouve que 1 gramme des matières astringentes qu'ils renferment équivaut à $0^{gr},51$ seulement de gallotannin.

## IV

Pour qu'on puisse comparer les résultats obtenus par la méthode que j'ai indiquée avec ceux qui ont été trouvés par divers expérimentateurs avec des méthodes différentes, j'ai fait parallèlement, par ces diverses méthodes, le dosage des matières astringentes dans une série d'échantillons de vins rouges et blancs.

Le tableau suivant donne les nombres obtenus : 1° par le procédé à l'oxyde de mercure (*a*) ; 2° par le procédé Caperni avec titrage au permanganate à chaud (*b*), employé par MM. Gayon, Blarez et Dubourg dans l'analyse des vins de la Gironde des récoltes 1887 et 1888 ; 3° par le procédé Caperni avec titrage par la méthode Lowenthal (*c*) (préconisé par M. Jean Pi) ; 4° par le procédé à l'acéto-tartrate de plomb (*d*), indiqué par MM. Roos, Cusson et Giraud, et employé par eux dans l'analyse des vins de l'Hérault. En ce qui concerne ce dernier procédé, le tableau donne en outre le poids des matières tanniques trouvé en pesant le précipité de tannate de plomb et déduisant le poids d'oxyde qui reste après incinération (*e*).

Enfin, le tableau indique les rapports que l'on obtient en comparant aux résultats du premier procédé ceux de tous les autres. Or, les résultats que l'on trouve par ces derniers procédés expriment, comme on sait, non pas des poids réels de matière tannique, mais des poids de gallotannin équivalents, cette équivalence variant d'ailleurs avec la nature de la réaction appliquée dans chacun de ces procédés de dosage ; par conséquent, les rapports dont il s'agit résultent de la comparaison de ces poids équivalents aux poids réels de matière tannique.

Ces rapports permettront de transformer les résultats obtenus par les anciennes méthodes dans des travaux antérieurs en d'autres qui indiqueront approximativement quelles étaient

Digitized by Google

les quantités réelles de matières astringentes qu'on avait voulu doser.

| ÉCHANTILLONS | | PROCÉDÉ A L'OXYDE de mercure. (a) | PROCÉDÉ A L'ACÉTATE DE ZINC. | | | | PROCÉDÉ à L'ACÉTO-TARTRATE de PLOMB | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | TITRAGE à chaud. (b) | RAPPORTS $\frac{b}{a}$ | TITRAGE à froid. (c) | RAPPORTS $\frac{c}{a}$ | DOSAGE en volumes (d) | RAPPORTS $\frac{d}{a}$ | DOSAGE en poids. (e) | RAPPORTS $\frac{e}{a}$ |
| | | Par litre | Par litre | | Par litre | | Par litre | | Par litre | |
| Vins rouges de la Gironde | Médoc 1891... | 3,08 | 2,08 | 0,68 | 1,45 | 0,47 | 1,50 | 0,49 | 2,88 | 0,93 |
| | Id. id. ... | 3,06 | 2,27 | 0,74 | 1,36 | 0,44 | 1,50 | 0,49 | 2,62 | 0,85 |
| | Graves 1891... | 2,55 | 1,71 | 0,67 | 1,28 | 0,50 | 1,36 | 0,53 | 2,32 | 0,91 |
| | Id. 1889... | 2,60 | 1,67 | 0,64 | 1,18 | 0,45 | 1,40 | 0,54 | 2,32 | 0,89 |
| | Id. 1873... | 2,64 | 1,85 | 0,7 | 1,28 | 0,48 | 1,16 | 0,44 | 2,46 | 0,93 |
| | Id. 1892... | 2,72 | 2,00 | 0,74 | 1,25 | 0,45 | 1,40 | 0,51 | 2,35 | 0,86 |
| | Côtes 1891... | 3,95 | 3,19 | 0,80 | 2,00 | 0,51 | 1,94 | 0,49 | 3,60 | 0,91 |
| | Id. 1890... | 4,12 | 3,19 | 0,77 | 1,92 | 0,47 | 1,90 | 0,46 | 3,56 | 0,86 |
| | Id. 1887... | 3,22 | 2,34 | 0,73 | 1,48 | 0,46 | 1,38 | 0,43 | 3,00 | 0,93 |
| | Id. 1884... | 3,85 | 3,27 | 0,85 | 2,00 | 0,52 | 1,84 | 0,48 | 3,52 | 0,91 |
| | Id. 1882... | 3,98 | 3,10 | 0,78 | 2,10 | 0,52 | 1,84 | 0,46 | 3,40 | 0,85 |
| | Pasteurisé.... | 3,20 | 2,40 | 0,73 | 1,34 | 0,42 | 1,55 | 0,48 | 3,00 | 0,93 |
| | Palus 1891.... | 3,72 | 2,94 | 0,79 | 1,56 | 0,42 | 1,65 | 0,44 | 3,20 | 0,87 |
| | Id. 1890.... | 3,04 | 2,28 | 0,75 | 1,40 | 0,46 | 1,36 | 0,45 | 2,40 | 0,80 |
| Vins rouges divers. | Hérault 1889.. | 2,12 | 1,70 | 0,80 | 0,96 | 0,45 | 0,96 | 0,45 | 2,06 | 0,97 |
| | Algérien 1891. | 2,92 | 2,10 | 0,72 | 1,36 | 0,47 | 1,28 | 0,44 | 2,48 | 0,85 |
| | Id. 1892. | 4,20 | 2,80 | 0,66 | 2,22 | 0,52 | 2,10 | 0,50 | 4,00 | 0,95 |
| | Espagnol 1891. | 4,76 | 3,70 | 0,76 | 2,30 | 0,47 | 2,30 | 0,49 | 4,28 | 0,88 |
| | Id. 1892. | 4,04 | 2,70 | 0,68 | 1,80 | 0,45 | 1,80 | 0,45 | 3,75 | 0,94 |
| | Italien 1892... | 5,36 | 3,20 | 0,60 | 2,70 | 0,50 | 2,45 | 0,42 | 4,90 | 0,91 |
| | Id. id. ... | 5,50 | 3,30 | 0,60 | 2,80 | 0,51 | 2,55 | 0,46 | 5,08 | 0,92 |
| | Coupage...... | 2,00 | 1,63 | 0,76 | 0,80 | 0,40 | 0,96 | 0,48 | 1,84 | 0,92 |
| | Vin d'Herbemont... | 2,80 | 1,50 | 0,54 | 1,10 | 0,39 | » | » | » | » |
| Vins blancs de la Gironde | Grand vin .... | 0,82 | 0,75 | 0,91 | 0,25 | 0,30 | » | » | » | » |
| | Id. .... | 0,70 | 0,70 | 1,00 | 0,20 | 0,28 | » | » | » | » |
| | Ordinaire..... | 0,26 | 0,20 | 0,76 | » | » | » | » | » | » |
| | Id. .... | 0,33 | 0,28 | 0,85 | » | » | » | » | » | » |
| Vin blanc espagnol... | | 0,80 | 0,70 | 0,87 | 0,30 | 0,37 | » | » | » | » |
| Id. turc........ | | 0,54 | 0,50 | 0,92 | 0,16 | 0,29 | » | » | » | » |
| Id. allemand... | | 0,55 | 0,50 | 0,92 | 0,20 | 0,36 | » | » | » | » |
| Cidre............... | | 0,82 | 0,60 | 0,73 | 0,30 | 0,36 | » | » | » | » |

En examinant les chiffres donnés par le procédé Caperni, on voit qu'ils ne sont pas les mêmes avec les deux façons de faire agir le permanganate; l'écart est même considérable.

Quant aux rapports obtenus avec chacune des deux méthodes de titrage, leur variation s'explique par la grande altérabilité des matières astringentes dont une partie peut rester

Digitized by Google

insoluble dans la liqueur sulfurique même concentrée, ou se précipiter dès l'addition des premières gouttes de caméléon. En outre, pour le titrage à chaud, la fin de la réaction est souvent difficile à apprécier.

La moyenne de ces rapports est de 0,75 pour le titrage à chaud, et de 0,43 pour le titrage à froid.

Nous avons établi précédemment que, vis-à-vis de l'oxyde de mercure, l'équivalence en gallotannin des matières astringentes du vin est de 0,75; par conséquent le rapport $\frac{\text{poids équivalent}}{\text{poids réel}}$ est un nombre constant et égal à 0,75, identique comme on le voit à la moyenne des rapports trouvée pour le titrage à chaud.

Cette coïncidence qui, malgré les écarts constatés dans les termes de la moyenne, est assez remarquable, montre que le principe de ce mode de titrage est assez bon, mais il doit être rejeté parce qu'il est sujet à des causes d'erreur importantes.

Pour le procédé à l'acéto-tartrate de plomb, la moyenne des rapports est de 0,48, et, comme le procédé de titrage au permanganate à froid, il doit être proscrit puisque les résultats sont beaucoup trop faibles.

On serait peut-être tenté de croire que le réactif plombique ne précipite que l'œnotannin à l'exclusion des matières colorantes, ce qui expliquerait la faiblesse des résultats de ce procédé par rapport à ceux pris pour terme de comparaison; mais il n'en est rien, comme l'indiquent les chiffres résultant de la pesée du précipité obtenu dans l'essai volumétrique. La moyenne des rapports s'élève dans ce cas à 0,9, elle n'atteint pas 1 parce que la combinaison de l'oxyde de plomb avec les matières astringentes du vin est soluble en partie dans la liqueur.

En résumé, ce travail montre que le dosage du tannin peut se faire, dans tous les cas, en le précipitant par l'oxyde de mercure dans des conditions convenables, et en appliquant les méthodes, soit en poids, soit en volumes, que j'ai indiquées.

Digitized by Google

# PASCAL ET LALOUVÈRE

**(Seconde Note)**

**PAR M. PAUL TANNERY.**

---

Dans le premier cahier du tome $V_3$ des *Mémoires de la Société* (pages 55-84) a été insérée une étude sur *Pascal et Lalouvère,* dont j'avais donné lecture le 24 janvier 1889. J'y signalais l'existence, dans la *Veterum Geometria promota* du jésuite de Toulouse, de fragments de lettres que Pascal lui a adressées en 1658 à l'occasion du concours sur la cycloïde, et j'y donnais la traduction de ces fragments, dont le texte est en latin.

Dans le numéro du *Journal des Savants* de mai 1890, M. J. Bertrand, qui n'avait pas encore eu connaissance de mon essai, a publié une note *Sur deux lettres peu connues de Pascal qui n'ont été reproduites dans aucune édition de ses œuvres.* Cette note concerne précisément les fragments du 11 septembre et du 18 septembre 1658, dont le texte français a été copié par Lalouvère dans une lettre adressée par lui à l'un de ses confrères le 7 juin 1659. Cette lettre, ce que j'ignorais, avait été reproduite, d'après le manuscrit de la Bibliothèque nationale, fonds français, n° 2812, f^os^ 254-255, dans le numéro d'avril 1879 de la *Revue des questions scientifiques* de Bruxelles [1]. M. Bertrand, tout en se servant de ce docu-

[1] *Fragments inédits de Pascal,* page 693 et suiv., article non signé. L'indication donnée dans le *Journal des Savants* est inexacte. Au reste, la lettre de Lalouvère, qui était cataloguée sous un faux nom, a été découverte par le R. P. Colombier.

Digitized by Google

ment pour apprécier, dans un sens analogue au mien, les relations entre Pascal et Lalouvère, a eu soin de remarquer que ce dernier avait imprimé en 1660 une version latine exacte du texte français des fragments ainsi révélés; que, par suite, leur authenticité ne pouvait être mise en doute.

Le fait n'est pas douteux; toutefois, si l'on confronte scrupuleusement ce texte français soit avec le latin de Lalouvère, soit avec la traduction, aussi fidèle que possible, que j'en ai donnée, on reconnaîtra que dans la copie du 7 juin 1659 il y a quelques omissions. La pièce de la Bibliothèque nationale ne doit donc pas être regardée par les futurs éditeurs de Pascal comme la seule source à consulter pour les fragments en question; après avoir eu l'occasion de l'examiner, j'ajouterai que cette pièce ne me paraît nullement être un original de la main de Lalouvère, mais seulement une copie, ce qui diminue encore un peu les chances d'une reproduction absolument littérale du texte de Pascal.

Le premier scrupule à cet égard a été provoqué en moi par l'orthographe de la signature « Antoine Lalouere » [1]. Si cette forme correspond exactement au latin *Lalouera,* pouvait-elle être adoptée, en français, par l'oncle de Simon de La Loubère?

Extérieurement, la pièce a toute l'apparence d'une lettre écrite sur papier de petit format et envoyée dans une enveloppe perdue, portant l'adresse. On remarque seulement que, dans les deux dernières pages, l'écriture est beaucoup plus serrée que dans les premières. Quant à la signature, elle est écrite de la même façon que le corps de la lettre, comme cela a lieu dans les copies textuelles, mais se rencontre aussi parfois dans les originaux.

La provenance du manuscrit où se trouve la pièce (fonds Baluze) ne peut davantage fournir un argument décisif. Il est

---

(1) Ce qu'on peut lire d'ailleurs aussi bien *Lalovère* que *Lalouère.* Dans mon article précédent, j'ai donné la raison pour laquelle j'ai adopté la forme *Lalouvère,* avec la remarque que le *v* devait se rapprocher du *b* dans la prononciation toulousaine du temps.


Digitized by Google

clair en tous cas que la lettre était faite pour être communiquée (soit directement, soit par copie), et elle était assez intéressante pour que Baluze la conservât dans ses papiers.

Ce n'est donc que d'après un examen attentif du texte que l'on peut se prononcer. Je crois dès lors devoir le reproduire exactement, avec l'orthographe du temps, la publication qui en a déjà été faite étant difficile à se procurer en France et ne paraissant pas offrir une garantie complète pour les détails.

## LETTRE DE LALOUVÈRE

A Tolose ce 7 juin 1659.

Mon R. P.,

Pax X[1] (1).

Estant asseuré que la lettre dans laquelle je priois V. R. de nous enuoyer par le Messager certains liures de Mathematicque, n'a point esté arrestee ceans, je me suis mis a penser d'ou procedoit que V. R. qui est si exacte a faire response sur tout, m'auoit gardé un profond silence la dessus. Il m'est venu en pensee que peut estre V. R. m'aiant demandé l'histoire de la Cycloide, ou une copie, et ne luy aiant rien respondu ny par effect ny par lettre, elle se reseruoit de me faire raison lorsque j'aurois commencé de luy en donner l'exemple. Je ne puis aucunement vous enuoyer l'imprimee (2) pour le grand besoing que j'en ay pour me justiffier, lorsque l'on m'interroge la dessus. Quand (3) a ce qui est de la coppier entierement, je le feray s'il vous est necessaire mais je croy que (4) ne desirez scauoir que ce qui me concerne. De ceste Histoire je n'en ay receu de ces Messieurs que deux pieces la premiere qui est en datte du 10 octobre 1658, et a pour titre. Histoire de la Roulette appellee autrement la Trochoide ou la Cycloide, ou l'on rapporte par quels degrez on est arriué a la cognoissance de la nature de ceste ligne. La seconde dattee du 12 decembre 1658. Et a pour titre. Suitte de l'Histoire de la roulette, ou l'on voit le procedé d'une personne qui

(1) « Pax Christi. »
(2) L'imprimé de Pascal, du 10 octobre 1658, avec ses suites.
(3) Suit le mot *est* qui a été rayé.
(4) Omission du mot *vous*, improbable dans un original.

Digitized by Google

s'estoit voulu attribuer l'inuention des problemes proposez sur ce suiet. Chascune de ces pieces est de 8 pages in-4°. En la premiere il parle de moy page 5 en ces termes (1). *On a veu aussy la dimension de la roulette et de ses parties, et de leurs solides a lentour de la base seulement du R. P. Lalouere (2) de Tolose. Et (3) comme il l'enuoya toute imprimee, j'y fis plus de reflexion et (4) fus surpris de voir que tous les problemes qu'il y resoult, n'estants autre chose que les premiers de ceux que Mr. de Roberual auoit resolus depuis si longtemps, il les donnoit neantmoins soubs son nom, sans dire un seul mot de l'autheur. Car encore que sa methode soit differente, on sçait assez combien c'est une chose aysee, non seulement de desguiser les (5) propositions deia trouuees, mais encore de les resouldre d'une maniere nouuelle par la cognoissance qu'on a deia eüe autres fois (6) de la premiere solution. Je priay donc instamment Mr. de Carcauy non seulement de faire aduertir le Pere (7), que tout cela estoit de Mr. de Roberual, ou au moins enfermé manifestement dans ses moiens; mais encores de (8) luy decouurir la voye, par ou (9) il y est arriué (car on ne doit pas craindre de s'ouurir entre (10) personnes d'honneur). Je luy fis donc mander que ceste voye de la premiere decouuerte estoit la quadrature que l'autheur auoit trouué depuis longtemps, d'une figure qui se descrit d'un traict de compas sur la surface d'un cylindre droit, laquelle surface estant estendüe en plan forme la moitié d'une ligne qu'il appelle la compaigne de la cycloide, dont les ordonnees a (11) l'axe sont egalles aux ordonnees de la roulette diminuees de celle (12) de la Roüe. En quoy je creus faire un plaisir part (13) au R. Pere, parce que dans ses lettres que nous auons, il parle de la qua-*

---

(1) Tout ce qui suit en italique est souligné dans l'original.

(2) Pascal ajoute *jésuite*. La forme *Lalouere* est ici copiée de l'*Histoire de la Roulette* et ne prouve rien pour l'orthographe du nom. Mais si la signature était peu lisible, elle a pu conduire le copiste à y adopter la même forme.

(3) Mot omis dans les éditions de Pascal.

(4) Pascal ajoute *je*.

(5) Pascal : *des*.

(6) Pascal : *une fois*.

(7) Pascal : *Révérend Père*.

(8) Suivent les mots rayés : *les resoudre d'une maniere nouuelle, par la cognoissance qu'on a eüe une fois de la premiere solution. Je priay donc in.*

(9) Pascal : *laquelle*.

(10) Pascal ajoute : *les*.

(11) Pascal : *à*. Ici *a* est en interligne, comme correction de *de*.

(12) Pascal : *celles*.

(13) *Particulier*. Le mot est à la fin d'une ligne, mais le papier est intact.

Digitized by Google

*drature de ceste figure qu'il appelle cyclocylindrique, comme d'une chose tres esloignee de sa cognoissance, et qu'il eut fort desiré cognoistre. Mr. de Carcauy n'aiant pas eu assez de loisir, a faict mander tout cela, et fort au long, par un de ses amys, au R. P. qui y a faict response.* Vous avez veu la response (1) que je fus contrainct de faire a ces calomnies, sur la fin des six propositions du mouuement des graues. V. (2) comme il parle de moy en la *suite de l'histoire* sans toutes fois me nommer par mon nom, bien qu'il soit impossible a ceux qui ont quelque cognoissance de ce fait de n'entendre pas qu'il parle de moy. *Il ne satisfit point sur ceste demande* (vous la verrez dans sa lettre bien au long, ou il me coniure de luy dire mon secret) *mais continua a prier qu'on s'asseurast sur sa parolle, qu'il auoit trouué ce probleme par la balance d'Archimede, sans mander en aucune sorte ses moiens. Ce qui me* (3) *fist que trop cognoistre son desseing, et on ne* (4) *lui tesmoigna assez clairement par plusieurs lettres, mais il y demeura si ferme que quand il vit l'histoire de la roulette imprimee, sans qu'il y fust en parallele auec Mr. de Roberual, il se plaignit hautement de moy, comme si je luy eusse faict une extreme injustice.* (Vous auez veu la lettre que je luy enuoyay, et il m'obligeroit bien de la donner au jour). *Que s'il auoit monstré qu'il fust arriué a ceste cognoissance sans secours, je l'aurois* (poursuit-il) (5) *tesmoigné auec joye. Mais que n'aiant rien faict d'approchant, et n'y ayant personne qui ne peut aussy bien que luy donner une enonciation deguisee, et se vanter de l'auoir trouuée de* (6) *soy mesme par la balance d'Archimede, j'auois* (7) *failly de donner un compagnon a Monsieur Roberual en* (8) *ses inuentions.... Voila quel a esté son procedé sur les Problemes de Mr. de Roberual, ou j'admiray a quoy ceste fantaisie de l'honneur des sciences porte ceux qui en veulent auoir et qui n'ont pas de quoy en acquerir d'eux mesmes. Ce* (9) *fust dans le mois de septembre qu'il commenca a escrire qu'il auoit resolu tous ces problemes. On me le fist scauoir et je fus surpris de sa petite ambition; car je cognoissois la* (10) *force et la difficulté*

(1) Du 8 décembre 1658. J'en ai donné la traduction, t. V, p. 74.
(2) *Voïcy*. Dernier mot d'une ligne. Il y a une déchirure en cet endroit.
(3) Lisez: *ne*.
(4) Lisez: *le*.
(5) Plus loin dans la *suite de l'histoire de la Roulette.*
(6) Omis dans *Pascal.*
(7) Lisez *j'aurois.*
(8) Pascal: *dans*, et un autre ordre de mots.
(9) Plus loin dans la *suite de l'histoire de la Roulette.*
(10) Pascal: *sa.*

Digitized by Google

*de mes problemes, et je jugeois assez par tout ce qu'il auoit produit jusques icy qu'il n'estoit pas capable d'y arriuer.... Mais* (1) *il m'a semblé* (2) *qu'il estoit bon de faire voir ce recit par aduance, affin qu'apres que j'aurois donné mes solutions* (Il n'a pas encores donné le calcul des cas proposez, ny de quoy y venir, comme je fais voir en la 45e et derniere proposition du liure 5e de la Cycloide adiousté aux 4 precedens, ou je donne aussy le calcul des cas proposez au commencement d'octobre, qu'il n'a pas donné non plus) *s'il arriuoit qu'il fust si mal conseillé que de desguiser que de les desguiser* (3), *tout le monde connut la verité* (on verra par mon edition comme il a desguisé (4) les principaux fondemens de ceste methode que j'auois donné au public des l'an 1650). *C'est la seule chose que j'ay voulu faire par ce discours et non pas descrier sa personne; car je voudrois le seruir et respecte* (5) *sa qualité de tout mon cœur. Aussy j'ay caché son nom; mais s'il le decouure apres cela luy mesme, pour s'attribuer ces inuentions, il ne deura se prendre qu'a luy de la mauuaise estime qu'il s'attirera.* Cette suitte est toute contre moy, et elle me fist faire la response (6) que je mis sur la fin de mon calcul imprimé sur le commencement de l'annee aussytost que les quatre premieres pages de sa lettre a Mr. Carcauy nous furent envoyees separement. J'ay obmis qu'en l'histoire, page 4, parlant de Mr. de Roberual, il dit que *ses methodes sont generales et donnent auec* (7) *mesme facilité.... les solides tant autour de la base qu'autour de l'axe.... et ce seroit chicaner que de luy en disputer la premiere resolution.* Remarquez je vous prie ces dernieres parolles et conferez le (8) auec celles de sa lettre que je mets ensuitte et vous admirerez la candeur de ceste personne. [Coppie (9) de la lettre de Mr. Pascal au P. Lalouere qu'il luy escrit le 11 septembre 1658 se conioüissant du double calcul du solide sur l'axe que le dict Pere luy auoit

(1) Plus loin dans la *suite de l'histoire de la Roulette.*

(2) Pascal : *me sembla.*

(3) *Sic.*

(4) Accusation formelle de plagiat, que Lalouvère n'a pas osé imprimer.

(5) Pascal : *je respecte.*

(6) Du 9 janvier 1659. J'en ai donné la traduction, t. $V_1$, p. 98.

(7) Pascal ajoute : *une.*

(8) *Sic.*

(9) La phrase que j'ai mise entre crochets me paraît une preuve décisive que la pièce de la Bibliothèque nationale n'est qu'une copie; car il me semble incompréhensible que Lalouvère l'ait écrite. Au contraire, son correspondant aura très bien pu plus tard l'inscrire en marge, d'après les renseignements fournis par la *Veterum Geometria* de 1660. Le copiste l'aura intercalée dans le texte.

Digitized by Google

enuoyé : le premier de ces calculs estoit du solide entier, le second du demy solide qui est en haut du cercle generateur]. *Mon Reuerend Pere* [1], *je voudrois que vous vissiez la joye que vostre derniere lettre m'a donnee, ou vous dittes que vous auez trouué la dimension des solides sur l'axe, tant de la cycloide que de son segment. Je vous supplie de croire qu'il n'y a personne qui publie plus hautement les merites des personnes que moy; mais il fault a la verité qu'il y ait suiect de le faire : c'est une chose rare et surtout en ceux qui font profession des sciences que d'auoir ceste syncerité la dont je me vante et que je feray bien paroistre a vostre suiect. Car je vous asseure que j'ay autant de joye de publier que vous auez resolu un des plus difficiles problemes de la Geometrie, que j'auois de regret en disant* [2] *que ceux que vous auiez resolus estoient peu au prix de ceux la. Il est sans doute, mon Pere, que c'est un grand probleme, et je souhaitterois fort de scauoir par ou vous y estes arrivé. Car enfin Mr. de Roberual, qui est asseurement fort habile, a esté six ans a le trouuer. Et vous auez la solution generale, dont sa methode ne donne qu'un cas, qui est celluy de la cycloide entiere* [3]. Apres auoir examiné mes calculs des deux cas, il m'escriuit du 18 du mesme mois de septembre me coniurant de lui enuoyer ma methode, mais le R. P. Recteur m'en empescha. Voicy ses parolles.

*Mon tres Reuerend Pere,*

*Je ne puis vous tesmoigner combien nous auons d'impatience de voir le biais par ou vous vous estes pris a trouuer les solides de la cycloide sur l'axe. J'auois tort de craindre qu'il y eust erreur a vostre calcul. Il n'y en a point, je l'ay vérifié... Pour reuenir a vous, mon R. Pere, je ne seray point en repos que vous ne m'ayez faict la grace de me mander par ou vous estes venu a ces solides de la cycloide* [4]. *J'en ay une grande curiosité.*

Jusques a ce refus j'ay esté quelque chose a leur dire, du depuis, je n'ay esté qu'un petit glorieux, qu'un larronneau des inuentions d'aultruy n'en pouuant pas produire de moy mesme a raison du peu de forces d'esprit. Et Mr. de Roberual a esté celluy sur qui j'ay buttiné, Voila, mon R. P., ce que j'ay creu que V. R. desiroit de moy. Je la supplie de m'escrire a son tour sur mes demandes et de

---

(1) Comparer ma traduction du texte de Lalouvère, t. $V_2$, p. 68.
(2) Le texte latin donne une incise de plus.
(3) Le texte latin donne une phrase de plus.
(4) Le texte latin donne une phrase de plus.

Digitized by Google

se souuenir de moy en ses ss. ss. [1] et oraisons comme de celluy qui est

D. V. R.

Tres humble et tres obeissant seruiteur.

Antoine LALOUERE.

Monseigneur l'archeuesque est de retour des bains de Baignières, et il confere les ordres. Le R. P. Adam [2] est encores en ceste ville auec la satisfaction de tous. Il n'y a icy que les jansenistes dit-on et les partisans qui reuocquent en doute la paix entre les deux couronnes. Si vous voiez Mr. de Hardy, je vous prie de luy tesmoigner mes tres humbles respects. J'espere aussy que V. R. saluera de ma part le R. P. Ratier [3] et luy communiquera la presente.

---

Comme je l'ai indiqué dans ma note, ce texte contient une phrase qui ne peut guère appartenir à un original. On remarquera, d'autre part, que l'orthographe, eu égard à la date de la lettre, est à certains égards singulièrement en avance, tandis qu'elle présente aussi des formes anciennes, comme si la transcription eût été faite par un copiste qui ne se serait attaché ni à reproduire littéralement le texte, ni à l'adapter régulièrement à la mode nouvelle. On pourra noter en particulier des anomalies comme *copie* et *coppier, cognoistre* et *connut,* etc.

Enfin, certains indices (omissions de mots et répétitions non biffées) doivent faire croire que la copie n'a pas été collationnée.

La pièce que je viens de rééditer ne révèle en somme aucune nouvelle particularité des relations entre Pascal et Lalouvère.

---

(1) Saints sacrifices.

(2) Jean Adam, prédicateur jésuite, né en 1608, mort en 1684.

(3) Probablement le dominicain Vincent Ratier, né en 1634, mort en 1699. Il fut attaché successivement à divers couvents de son ordre, en particulier à Provins et à Orléans. Malheureusement les indications données dans ce *post-scriptum* ne sont pas suffisantes pour déterminer soit le correspondant du Père Lalouvère, soit seulement sa résidence. En tout cas, il est improbable que ce fût un jésuite de Paris.

Digitized by Google

Elle donne le texte français de fragments de lettres du premier au second; mais j'insiste sur ce point que ce ne sont que des fragments (malgré la mention *Copie de la lettre*, etc.); que dans le texte latin imprimé par Lalouvère en 1660, ces fragments sont un peu plus étendus; qu'enfin le jésuite de Toulouse avait reçu de Pascal d'autres lettres sur lesquelles il a donné dans sa *Veterum Geometria promota* diverses indications qui ne sont pas à négliger.

---

Digitized by Google

Digitized by Google

# LE NOIR ANIMAL

## DESTINÉ A L'INDUSTRIE DES TARTRES DE VIN

PAR M. LE Dr P. CARLES.

---

Dans notre étude sur les dérivés tartriques du vin (1), nous avons indiqué que pour obtenir la crème de tartre avec tout le degré de blancheur et de pureté réclamé par l'industrie, il était indispensable d'avoir recours à l'action décolorante du charbon animal, mais que le produit brut devait être purifié. Aujourd'hui, nous venons démontrer que pour rendre cette purification le plus fructueuse possible, il y avait lieu, pour le tartrier, d'envisager trois points principaux :

1° Enlever au noir brut toutes les matières calcaires susceptibles d'attaquer le tartre;

2° Donner au noir purifié son maximum de pouvoir décolorant;

3° Recueillir les phosphates retirés de ce noir.

## I

### Purification du Noir animal.

Pour enlever au noir animal brut toutes les matières calcaires susceptibles d'attaquer le tartre, le moyen le meilleur et le plus économique consiste à le traiter par l'acide chlorhydrique étendu, opération qui se réalise très facilement dans des cuves de bois. Il faut se garder, dans cette manipulation, d'ajouter l'acide sur le noir en poudre et de ne mettre l'eau qu'ultérieurement, car cette manœuvre donnerait lieu

---

(1) Bordeaux. — Feret et fils, libraires, cours de l'Intendance.
Paris. — G. Masson, éditeur, boulevard Saint-Germain.



Digitized by Google

à des grumeaux tenaces que l'eau serait impuissante à détruire. On devra donc délayer d'abord la poudre dans l'eau, puis ajouter l'acide et laver enfin à plusieurs reprises le dépôt à l'eau dans les proportions suivantes. Après de multiples essais, dont les principaux sont résumés plus bas, nous sommes arrivés à réduire l'eau totale de lavage à dix fois le poids du noir, pour n'importe quelle proportion d'acide mise en jeu; mais cette eau devra être divisée en quatre parts. Le premier quart servira à délayer le noir neuf, on versera ensuite l'acide chlorhydrique, et après un contact de deux heures (1), durant lesquelles on brassera plusieurs fois la matière (2), on laissera le tout en repos deux heures au moins (3). Le liquide surnageant sera recueilli au siphon ou par un robinet latéral et remplacé par le second quart d'eau; on brassera deux ou trois fois, on laissera reposer deux heures encore, on décantera de rechef le liquide clair et on continuera ainsi jusqu'à ce que les dix parties d'eau aient circulé sur le noir. A ce terme, le produit lavé sera mis à égoutter sur une toile (4) tendue sur le fond d'un tonneau percé à claire-voie. Lorsqu'il a été bien essoré dans ces conditions, il retient quatre fois son poids d'eau, c'est-à-dire que 100 grammes de ce noir humide correspondent à 20 grammes du même noir sec.

Le tableau dressé ci-après montre l'influence des proportions croissantes d'acide chlorhydrique; il indique aussi les rendements en noir purifié ou charbon animal véritable. On n'oubliera

---

(1) Après une durée de contact variable, 100 parties de liquide surnageant ont fourni en phosphate de chaux :

| | Après 2 heures | Après 4 heures | Après 6 heures |
|---|---|---|---|
| Noir H | 1.80 | ? | ? |
| Noir I | 9.30 | 9.20 | 9.20 |
| Noir J | 10.80 | 10.90 | 10.90 |
| Noir K | 10.70 | 10.80 | 10.80 |

(2) On devra éviter l'emploi de ringards, spatules, pelles et autres instruments *en fer*.

(3) Le dépôt est d'autant plus rapide que l'on a employé moins d'acide.

(4) Il y a lieu de noter que l'acide chlorhydrique a la propriété d'attaquer, c'est-à-dire d'user rapidement les tissus en fils végétaux (lin, chanvre, jute...) lorsqu'on les laisse dessécher à l'air sans les rincer. Cet inconvénient ne se produit pas avec les tissus en fils animaux tels que la laine, le crin, qui résistent très bien à l'action des acides.

Digitized by Google

pas que celui qui représente les 15 0/0 du produit brut retient encore le cinquième de son poids de sels terreux, d'oxyde de fer (1).

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Noir pulvérisé ordre.. | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eau froide ordinaire. | 500 | 500 | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1000 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Ac. chlorhydriq. ordre à 1017. Densité... | 000 | 50 | 100 | 150 | 100 | 125 | 150 | 50 | 100 | 125 | 150 |
| Eau ordre, 1er lavage. | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| — 2e lavage. | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| — 3e lavage. | 500 | 500 | 500 | 500 | 000 | 000 | 000 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Charbon obtenu sec.. | 95 | 82 | 28 | 15 | 27 | 15 | 15 | 85 | 31.50 | 16.50 | 15.50 |

## II

## Donner au noir purifié son maximum de pouvoir décolorant.

Mais comme toute action décolorante d'un noir est subordonnée à son action chimique négative et qu'on ne pourrait l'employer s'il décomposait le tartre ou s'il lui communiquait des propriétés plus onéreuses que sa coloration, nous avons cru devoir tout d'abord étudier cette question préjudicielle.

Ce second chapitre se divisera donc en deux parties: 1° Étude de l'action chimique; 2° Étude de l'action décolorante.

§ 1. *Étude de l'action chimique des noirs diversement phosphatés sur le tartre.* — Si, dès l'inscription du texte de ce sous-chapitre, nous élargissons le sujet, c'est parce que nous avons vu, dans le tableau précédent, que les noirs étaient d'autant plus phosphatés que l'on avait ménagé la dose d'acide chlorhydrique. On verra aussi plus bas que nous avons mis en parallèle de ces noirs d'os, des noirs végétaux et minéraux présentés par les fabricants comme supérieurs aux noirs animaux.

(1) Comme l'oxyde de fer jaunit toujours les crèmes, les tartriers devront préférer les noirs calcinés dans des pots de terre à ceux retirés des cornues de fonte. Ils devront s'assurer avant de les agréer que ces noirs ne sont pas ferrugineux.


Digitized by Google

Pour nous rendre un compte exact de l'action chimique de tous ces agents décolorants, nous avons mis à bouillir pendant dix minutes, dans chaque opération :

| | | |
|---|---|---|
| 10 | grammes | de tartre purifié à 98 degrés. |
| 5 | — | de noir pulvérisé. |
| 200 | — | d'eau distillée. |

Nous avons filtré bouillant et épuisé le noir resté dans la capsule ou sur le filtre par deux affusions successives d'eau distillée bouillante, jusqu'à concurrence de 300 centimètres cubes de liquide.

Au bout de vingt-quatre heures, les cristaux de chaque capsule ont été recueillis sur des filtres semblables, mis à sécher à 50 degrés (1) pesés et titrés.

Voici les résultats obtenus :

| NATURE DU NOIR employé. | CRISTAUX recueillis. | | CONSTANTE. (3) | TARTRE. | TARTRE total pour 100. | DEGRÉ du tartre recueilli. | COULEUR. | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Noir animal A (2).... | 3.22 | + | 1.50 | 4.72 | 47.20 | 84.00 | Blanc très opaque. | Marchand. |
| — H...... | 5.10 | + | 1.50 | 6.60 | 66.00 | 6.00 | Blanc opaque. | Id. |
| — I...... | 7.70 | + | 1.50 | 9.20 | 92.00 | 90.00 | Blanc opalin. | Id. |
| — J...... | 7.80 | + | 1.50 | 9.30 | 93.00 | 92.00 | Translucide. | Id. |
| — K...... | 7.80 | + | 1.50 | 9.30 | 93.00 | 98.00 | Id. reflet vert d'eau. | Id. (4) |
| Noir végétal pur...... | 7.20 | + | 1.50 | 8.70 | 87.00 | 88.00 | Orangé. | Non marchand. |
| — — lavé à l'acide. | 7.96 | + | 1.50 | 9.46 | 94.60 | 99.25 | Blanc beurre frais. | Marchand. |
| — minéral choisi.... | 6.40 | + | 1.50 | 7.90 | 79.00 | 91.25 | Jaune. | Non marchand. |
| — — lavé à l'acide. | 7.00 | + | 1.50 | 8.50 | 85.00 | 93.00 | Citrin. | Id. |

Au contact de l'acide libre du bitartrate de potasse, le carbonate de chaux du noir brut fait effervescence et donne naissance une première fois à du tartrate de chaux insoluble et à du tartrate neutre de potasse soluble. Cette première

(1) A cause de l'action déshydradante d'une température plus élevée sur le tartrate de chaux mélangé (V. notre étude sur les dérivés tartriques du vin, p. 45.)

(2) Ces lettres se rapportent aux divers noirs inscrits dans le tableau de la page 263.

(3) Proportion constante de bitartrate de potasse restée en dissolution dans les 300 centimètres cubes de liquide.

(4) Ce reflet vert d'eau tient à des traces infinitésimales de fer. On les éviterait soit en traitant le noir par de l'acide chlorhydrique blanc non ferrugineux, soit en traitant le bain de cristallisation du tartre par un peu d'acide sulfureux ou de bisulfite de potasse.

Digitized by Google

action passée (et elle n'a jamais lieu avec les noirs lavés à l'acide), le phosphate de chaux réagit à son tour sur le même bitartrate pour former une décomposition analogue. Le tartrate de chaux reste sur le filtre avec le noir, le tartrate neutre passe en liqueur. Pour s'en assurer et se rendre compte du déchet qui se produit par ce moyen, il suffit, au bout de vingt-quatre heures, d'aciduler franchement avec de l'acide acétique les eaux-mères de cristallisation. Du bitartrate cristallisera peu après et en quantité d'autant plus grande qu'il y avait plus de tartrate neutre en liqueur. Les liqueurs traitées par les noirs A et H de notre tableau ont fourni de cette façon une quantité assez notable de bitartrate de potasse; celles provenant des noirs I n'en ont donné que des traces. Les noirs J K en ont produit néant.

De l'ensemble des résultats précédents, il appert :

1° Que le noir animal, même après lavages modérés à l'eau bouillante, retient environ un dixième et demi de son poids de bitartrate de potasse, mais susceptible d'être dissous par une décoction directe avec l'eau. C'est là un détail que l'industrie ne devra pas oublier;

2° Que le bitartrate de potasse pur est translucide avec un très léger reflet vert d'eau, que détruisent brusquement quelques traces de tartrate calcaire, ou l'intervention de l'acide sulfureux;

3° Que les noirs végétaux et minéraux donnent des cristaux de tartre jaunes, non marchands, dès qu'ils renferment quelques millièmes de fer; ce qui est la règle;

4° Que l'action du noir végétal lavé à l'acide est sensiblement nulle sur le bitartrate de potasse;

5° Que les noirs d'os lavés avec 125 à 150 0/0 d'acide chlorhydrique n'attaquent pas sensiblement le bitartrate de potasse.

Nous allons revoir ces noirs à l'œuvre comme agents de décoloration.

§ 2. *Étude de l'action décolorante des noirs.* — Ces essais, quoique plus importants que les premiers, leur sont cependant

Digitized by Google

absolument solidaires, car il serait trop onéreux d'employer un agent de décoloration qui entraînerait des pertes notables de bitartrate.

Dans les matières complexes qui constituent la teinte des lies, des tartres bruts, du tartrate de chaux..... on trouve deux ordres distincts de produits colorés. Dans l'un se rangent les pigments rouges et bleus du raisin partiellement solubles dans l'eau chaude à la faveur de l'acidité du tartre; dans l'autre, se trouvent les matières colloïdales extractives de nature complexe, dont le caramel de mélasse est le type.

Pour nous faire une idée générale du pouvoir décolorant de nos variétés de noirs, nous les avons donc soumises, d'une part, à l'action d'une décoction de lies de vin rouge filtrée après vingt-quatre heures de refroidissement, et, d'autre part, à l'action d'une solution de caramel. Ces deux types de liqueurs teintées étaient chaque fois bouillants.

*Décoction de lies de vin rouge.* — Avec la décoction de lies, l'essai a été pratiqué de deux façons, M et N, qui se contrôlent. Dans M la proportion de noir était constante et la liqueur colorée variable, dans N, c'était l'inverse.

*Essai de décoloration* M. — 2 grammes de noir étaient délayés dans 50 grammes d'eau et additionnés successivement de 5 en 5 centimètres cubes d'une même décoction de lies jusqu'à persistance de la couleur, après repos et filtration. Dans ces conditions, nous avons noté pour les

| Noirs............ | A (1) | H | I | J | K | minéral | végétal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grammes......... | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Liqueur décolorée. | 30 | 30 | 40 | 65 | 90 | 20 | 15 |

ou en rapportant à 100 le pouvoir décolorant du noir brut A

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Liqueur décolorée. | 100 | 100 | 133 | 216 | 300 | 66 | 50 |

*Essai de décoloration* N. — Ici, la quantité de décoction de lie était constante, soit 100 centimètres cubes, et les noirs étaient ajoutés par petites fractions successives jusqu'à décoloration. En procédant ainsi, nous avons noté :

(1) Brut.

Digitized by Google

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Liqueur colorée....... | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Noirs................ | A | H | I | J | K |
| Quantité en grammes.. | 4.50 | 4.00 | 3.37 | 2.23 | 2.00 |

ou en rapportant à 100 la quantité de noir brut primitif, il a fallu pour décolorer *un même volume de liqueur de lies :*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 88 | 74.85 | 49.50 | 45.50 |

*Décoloration d'une solution de caramel de mélasse* [1]. — Nous avons fait avec le caramel deux ordres d'essais absolument parallèles aux précédents. Ils ont fourni :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Noirs............... | A | H | I | J | K |
| Grammes............ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Solution-caramel..... | 20 | 20 | 30 | 60 | 70 |

ou en rapportant le noir type brut à 100 :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 100 | 150 | 300 | 350 |

Inversement, en agissant sur un volume constant de liqueur caramélisée, on est obligé d'ajouter les poids variables de noir sec suivants :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Noirs............... | A | H | I | J | K |
| Liqueur caramel..... | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Grammes de noir.... | 5.00 | 4.50 | 3.10 | 1.90 | 1.70 |

ou en rapportant à 100 :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 90 | 62 | 38 | 34 |

Enfin, pour rendre les résultats plus concluants encore, nous avons fait un mélange de décoction de lie et de solution de caramel, qui représente mieux encore que les liqueurs précédentes le bouillon des cuves des tartriers, et qui constitue un produit plus complexe susceptible d'intéresser d'autres industries. Dans ce dernier ordre d'idées, nous avons cru bon également d'opérer à froid et à chaud.

Voici les résultats inscrits :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Noirs.................. | | A | H | I | J | K |
| Quantité employée....... | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Liqueurs de lies et de caramel | à froid... | 55 | 55 | 55 | 50 | 45 [2] |
| | à ébullition. | 50 | 50 | 70 | 85 | 85 |

[1] Ces essais intéressent aussi d'une façon toute particulière les raffineurs de sucre.

[2] Filhol a trouvé aussi que l'action décolorante du charbon animal est plus élevée à chaud qu'à froid sur les liqueurs jaunies par la mélasse, tandis que l'inverse avait lieu pour la teinte du vin.

Digitized by Google

soit, en rapportant à 100 l'action du noir brut,

| | A | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|
| Liqueur colorée mixte à chaud... | 100 | 100 | 140 | 170 | 170 |

Et maintenant, si nous pratiquons, comme plus haut, l'expérience inverse, c'est-à-dire si sur une quantité de liqueur colorée mixte nous faisons agir la quantité de chaque noir nécessaire pour la décolorer à l'ébullition, nous trouvons :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Liqueur mixte colorée ci-dessus.. | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Noirs.................. | A | H | I | J | K |
| Grammes............... | 2.00 | 1.70 | 0.95 | 0.80 | 0.75 |

ou, en rapportant à 100 le poids de noir brut,

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 85 | 47.5 | 40 | 37 |

En pratiquant les expériences ci-dessus, nous avons noté, en outre, quelques détails qui, au point de vue pratique, méritent d'être retenus.

Le premier, c'est qu'il y a rarement concordance absolue entre les résultats de décoloration que l'on obtient en ajoutant le noir sec dans une liqueur colorée bouillante, ou en faisant l'inverse, c'est-à-dire en ajoutant progressivement la même liqueur colorée sur le noir délayé dans l'eau jusqu'à apparition de la teinte.

Le deuxième, c'est que, toutes choses d'ailleurs égales, on obtient une décoloration et une limpidité plus persistantes, plus absolues et plus voisines de celles de l'eau distillée avec les noirs déphosphatés qu'avec les autres.

Le troisième, c'est que la filtration est plus rapide à travers les noirs déphosphatés, devenus plus poreux, qu'avec les autres

Le quatrième enfin, c'est que le passage ou la filtration de la liqueur à travers le noir est plus efficace, au point de vue de la décoloration, que l'agitation de la même quantité de noir avec le même liquide.

Il suffira, pour s'en convaincre, de comparer l'avant-dernier tableau avec le suivant :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Noirs.................... | A | H | I | J | K |
| Grammes................ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Liqueur mixte caramélique. | 55 | 55 | 85 | 115 | 115 |

Digitized by Google

ou, en rapportant à 100 l'effet du noir brut,

| A | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 100 | 154 | 209 | 209 |

Ici le liquide, au lieu d'être jeté plus ou moins chargé de noir sur un filtre de papier, était, au contraire, introduit dans un tube percé où l'on avait placé au-dessus d'une boule de coton absorbant la totalité du noir; et le liquide filtré était progressivement additionné de liqueur colorée primitive jusqu'à saturation du noir.

## III

### Récolte des phosphates retirés du noir d'os.

Dans les chapitres précédents nous avons démontré que les fabricants de crème de tartre avaient intérêt à retirer du noir animal tous les sels calcaires qu'il renferme. Comme ce travail comporte une certaine dépense et que ces sels calcaires ont, en fait, une valeur supérieure à celle du noir lui-même, nous avons cherché un moyen pratique de les récolter.

Rappelons pour mémoire que 100 parties de noir animal ont pour composition moyenne : carbonates terreux 8, phosphate de chaux tribasique 75, sels divers 7, charbon 10; que pour dissoudre tous ces sels il faut de 125 à 150 parties d'acide chlorhydrique commercial, et enfin un lavage méthodique avec 1,000 parties d'eau.

Pour retirer de cette liqueur acide tout le phosphate qu'elle renferme, voici, à notre avis, la meilleure façon de s'y prendre :

Dans un récipient métallique en plomb, en cuivre ou même en bois, introduisons les 9/10 du liquide à traiter; et, suivant la nature du récipient adopté, portons-le vers 100 degrés soit par l'action directe du feu ou de la vapeur; soit, et beaucoup mieux, en faisant barboter de la vapeur dans le liquide. Dès que la température sera voisine de 100 degrés (1), projetons-y

(1) Plus la température est proche de 100 degrés et plus la combinaison du phosphate avec la chaux est rapide; plus aussi le produit recueilli est pur, cristallin, de lavage facile, de dessiccation rapide et de volume moindre.

Digitized by Google

avec une lenteur relative un lait de chaux, obtenu en éteignant de la chaux vive à la manière des maçons et en délayant la chaux éteinte dans deux ou trois fois son poids d'eau (1). Le phosphate de chaux se séparera d'abord en gros flocons ou gros grumeaux que la vapeur divisera et que les nouvelles affusions de chaux réduiront en bouillie cristalline. Dès que le tournesol montrera que la liqueur n'est plus acide (2), on arrêtera les additions de chaux. Mais comme, à ce moment, il s'est précipité aussi de la silice, de l'alumine, etc..., on ajoutera le dixième de la liqueur acide phosphatée mise en réserve au début; on agitera quelques minutes encore et on laissera déposer pendant une demi-heure après avoir arrêté le feu.

Le liquide surnageant ne renferme guère que du chlorure de calcium sans grande valeur, à moins qu'on en ait l'emploi à peu de distance. On le décantera par siphon ou robinet latéral; et on lavera deux ou trois fois le précipité à l'eau claire. Chaque lavage, pour 100 parties de noir animal mis en jeu, demandera 500 parties d'eau environ; à l'aide d'un ringard ou mieux d'un jet de vapeur, on les mettra en contact avec la bouillie tout entière.

Enfin le précipité sera mis à égoutter sur des toiles et desséché soit à l'air libre sous des hangars, soit à l'aide de chaleur perdue (3).

Si on n'a fait usage que de chaux récemment éteinte, c'est-à-dire non carbonatée et si on a séparé le sable et les autres insolubles lourds, 100 parties de noir animal traitées par 125 à 150 d'acide chlorhydrique fourniront de 70 à 80 parties de phosphate de chaux pur, soluble dans le citrate d'ammoniaque, marquant de 38 à 40 degrés. Ce produit est vendu couramment comme engrais de 25 à 26 les 100 kilogrammes.

---

(1) Ce lait de chaux devra être bien privé, par décantation et, à la rigueur, par passage à travers un tamis métallique, du sable et de tous les grumeaux.

(2) Si on avait mis maladroitement trop de chaux, ce dont on s'apercevrait à l'action de la liqueur sur le tournesol rouge, il faudrait ramener la liqueur à neutralité, soit avec un peu d'acide chlorhydrique, soit avec un peu de liqueur acide prise en dehors de l'opération en cours.

(3) Lorsque le précipité a été essoré à la turbine, ou moins bien à la presse, sa dessiccation est beaucoup plus rapide.

Digitized by Google

Si au prix du noir animal brut pulvérisé on ajoute celui de l'acide chlorhydrique commercial, de la chaux, de l'usure des appareils, etc., il nous semble que l'opération devient rémunératrice pour un industriel tel qu'un tartrier, qui est outillé pour faire de grands lavages, qui a l'habitude de ces opérations, et auquel il reste enfin un noir déphosphaté sans aucune action sur le tartre et représentant en plus l'agent de décoloration jusqu'ici le plus actif.

---

## CONCLUSION

Il résulte de ce travail :

1° Que pour enlever à un noir d'os pulvérisé tous ses sels calcaires, il faut le traiter à froid par 10 parties d'eau mélangées avec une partie 1/4 ou une partie 1/2 d'acide chlorhydrique et le laver après méthodiquement avec 10 parties d'eau. Les quinze centièmes de charbon qui restent conservent après essorage quatre fois leur poids d'eau.

2° Que tous les noirs retiennent physiquement de 10 à 14 0/0 de bitartrate pur susceptible de se dissoudre dans l'eau franchement bouillante ;

3° Que lorsqu'on traite une solution aqueuse de bitartrate pur par un même noir diversement phosphaté, il se produit un déchet chimique en tartrate calcaire et tartrate neutre proportionnel avec la richesse de ce noir en sels calcaires, non seulement carbonatés, mais même phosphatés ;

4° Que le degré du bitartrate recueilli est lui-même en rapport inverse avec la quantité de ces mêmes sels de chaux ;

5° Que la couleur de la crème de tartre varie du blanc très opaque au blanc hyalin en raison de la disparition graduelle des sels de chaux; mais que cette couleur passe au jaune d'autant plus foncé que le charbon est plus ferrugineux.

C'est pour cette raison que les noirs végétaux et minéraux industriels ne peuvent être employés dans l'art du tartrier ;

6° Que lorsqu'on fait réagir à l'ébullition un noir d'os sur une

Digitized by Google

liqueur de lies de vin, son pouvoir décolorant varie de 1 à 3, selon sa pauvreté en sels calcaires, ou, si on le préfère, selon sa richesse en carbone pur;

Que si on remplace la liqueur de lies par une autre de caramel, l'action du noir purifié est encore plus nettement progressive;

Que si on mélange les deux liquides colorés, l'action du noir reste non seulement en rapport avec sa pauvreté en phosphates, mais que les liqueurs obtenues sont elles-mêmes d'autant plus limpides et d'une filtration d'autant plus aisée que le noir d'os est moins phosphaté;

Enfin que, toutes choses d'ailleurs égales, la filtration sur une colonne de noir décolore mieux cette liqueur mixte que sa décoction avec une dose égale du même produit;

7° Que pour retirer des liqueurs acides de lavage des noirs d'os, tout le phosphate de chaux qu'elles renferment, le procédé le plus pratique consiste à les saturer à l'ébullition par un lait de chaux;

Que, de cette façon, on récupère un produit de lavage facile, de dessiccation assez rapide, et dont le cours de vente à l'agriculture est susceptible de donner au tartrier naturellement outillé pour ce genre de travail un bénéfice réel;

Qu'en plus il lui restera un agent de décoloration digne d'être recherché pour son industrie, à cause de l'intensité de son action décolorante, à cause de la facilité avec laquelle il se prête aux filtrations et clarifie les liquides, à cause de la faible quantité de liqueurs qu'il immobilise grâce à son faible volume, à cause enfin de son action chimique négative sur le bitartrate de potasse, qu'il laisse sans déchet de rendement et sans abaissement de degré.

---

Digitized by Google

# NOTE

SUR LE

# NOMBRE DE POINTS DOUBLES

QUE PEUT PRÉSENTER

# LE PÉRIMÈTRE D'UN POLYGONE

PAR M. G. BRUNEL

---

Considérons dans un plan un polygone ayant pour sommets consécutifs les points $A_1, A_2, \ldots, A_n$; si le segment $A_i A_{i+1}$ coupe le segment $A_l A_{l+1}$, on dit que le périmètre du polygone présente un point double en ce point d'intersection.

Un polygone convexe ne présente aucun point double. Un polygone étoilé en présente un certain nombre. Baltzer (*Eine Erinnerung an Möbius und Seinen Freund Weiske. Ber. Verh.* Leipzig. 1885, p. 1-6) s'est occupé de la détermination du nombre possible de points doubles sur le périmètre du polygone de $n$ côtés et est arrivé à la proposition suivante :

Un polygone plan ayant $n$ côtés peut présenter $\frac{(n-2)(n-3)}{2}$ points doubles et un nombre inférieur quelconque. Si le nombre des côtés est pair, il n'y a jamais plus de $\frac{(n-2)(n-3)}{2}$ points doubles. Si le nombre des côtés est impair, il peut y avoir un nombre supérieur de points doubles, mais ce nombre est pair et le nombre maximum est $\frac{1}{2}n(n-3)$. La proposition de Baltzer n'est pas exacte, et déjà dans le cas de l'hexagone et de l'heptagone, qu'il considère en particulier, elle ne comprend pas tous les cas possibles.

Il existe, en effet, un hexagone à 7 points doubles. Prenons sur une circonférence six points consécutifs, 1, 2, 3, 4, 5, 6, et considérons le polygone 1364251.

Sur le côté 13 se trouvent *deux* points doubles aux points

Digitized by Google

de rencontre avec les côtés issus du point 2; sur le côté 36, se trouve *un* point double au point de rencontre avec le côté issu de 1 et différent de 13, et *deux* autres aux points de rencontre avec les côtés issus de 2; sur le côté 64 se trouvent *deux* points doubles aux points de rencontre avec les côtés issus de 5; sur le côté 42 se trouvent *deux* points doubles aux points de rencontre avec les côtés issus de 3; sur le côté 25 se trouve *un* point double au point de rencontre avec le côté issu de 4 et différent de 24, et *deux* autres aux points de rencontre avec le côté issu de 3; enfin sur le côté 51 se trouvent *deux* points doubles aux points de rencontre avec les côtés issus de 6. Chaque point double a été compté deux fois, une fois sur chacun des côtés qui contribuent à le former. Le nombre total trouvé est de 14. Le nombre des points doubles de l'hexagone considéré est égal à 7. De même, en prenant sept points consécutifs sur une circonférence 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, le polygone 14263751 présente 11 points doubles.

Il est facile de se rendre compte de la faute commise par Baltzer, et on peut alors aisément modifier son raisonnement de façon à arriver à un résultat plus complet.

En construisant les côtés successifs d'un polygone, Baltzer suppose que pour obtenir le polygone qui présente le nombre maximum de points doubles il est nécessaire de prendre ces côtés en sorte que l'introduction de chacun d'eux fournisse avec le contour polygonal déjà construit le nombre maximum de points doubles; mais il arrive alors que si l'on veut construire un polygone de $2n$ côtés le dernier côté ne présentera forcément aucun point double. Il peut y avoir avantage à ne pas introduire à chaque pas le nombre maximum dont on peut disposer s'il arrive que le dernier côté fournisse un nombre de points doubles compensant et même dépassant la perte que l'on a faite dans la construction par la méthode précédente du contour polygonal de $n-1$ côtés. C'est, en effet, ce qui arrive, non seulement pour le polygone d'un nombre pair de côtés, mais aussi pour le polygone d'un nombre impair de côtés, présentant un nombre de points doubles

Digitized by Google

inférieur au nombre maximum, mais de parité différente de ce nombre maximum.

Les modifications introduites de ce fait dans le résultat énoncé par Baltzer sont visibles dans le tableau suivant :

| Nombre des côtés | Le nombre possible de points doubles peut prendre les valeurs de | | et | auxquelles il convient d'ajouter |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 0 | à 1 | | |
| 5 | 0 | 3 | 5 | |
| 6 | 0 | 6 | | 7 |
| 7 | 0 | 10 | 12, 14 | 11 |
| 8 | 0 | 15 | | 16, 17 |
| 9 | 0 | 21 | 23, 25, 27 | 22, 24 |
| 10 | 0 | 28 | | 29, 30, 31 |

En sorte que le tableau des cas possibles se simplifie et devient

| Nombre des côtés. | Nombre des points doubles. |
|---|---|
| 4 | de 0 à 1 |
| 5 | 0 à 3 et 5 |
| 6 | 0 à 7 |
| 7 | 0 à 12 et 14 |
| 8 | 0 à 17 |
| 9 | 0 à 25 et 27 |
| 10 | 0 à 31 |

En résumé, si le nombre $n$ des côtés du polygone est impair, le nombre des points doubles peut prendre toutes les valeurs de 0 à $\frac{1}{2}n(n-3)-2$ et la valeur $\frac{1}{2}n(n-3)$.

Si le nombre $n$ des côtés est pair, le nombre des points doubles peut prendre toutes les valeurs de 0 à $\frac{1}{2}n(n-4)+1$.

Il est facile de construire des polygones correspondant aux différents cas possibles. Si $n$ est impair et égal à $2p+1$, en prenant $2p+1$ points consécutifs, 0, 1, 2, ... $2p$, sur une circonférence et en les joignant de $p$ en $p$, on obtient un polygone ayant $\frac{1}{2}n(n-3)$ points doubles. De ce polygone se déduisent facilement les polygones possédant en moins un nombre pair de points doubles.

Si dans la figure ainsi obtenue on prend de part et d'autre du point 0 deux points $0'$ $0''$, et entre les points $p$ et $p+1$ un point $p'$, en y remplaçant la ligne $\overline{p+1}\,0p$ par la ligne $\overline{p+1}\,0'p'0''p$, on obtient un polygone de $2p+3$ côtés,

présentant le même nombre de points doubles que le polygone primitif et, en outre, les points doubles situés sur $O'p'$ et $O'p'$, qui sont en nombre égal à $2(2p-1)=2n-4$. Le nombre est donc égal à

$$\frac{1}{2}n(n-3)+2n-4 \quad = \quad \frac{1}{2}(n+2)(n-1)-3.$$

Le polygone obtenu fournit les cas où le nombre de points doubles est de parité différente du nombre maximum.

En ce qui concerne les polygones ayant un nombre pair de côtés, la construction que nous avons donnée de l'hexagone possédant sept points doubles se généralise immédiatement et fournit les polygones ayant $\frac{1}{2}n(n-4)+1$ points doubles et, par suite, les polygones pour lesquels le nombre des points doubles est de même parité que $\frac{1}{2}n(n-4)+1$.

Si $n$ est pairement pair et égal à $4k$, en joignant $4k$ points pris sur une circonférence de $2k-1$ en $2k-1$, on obtient un polygone étoilé possédant $\frac{1}{2}n(n-4)$ points doubles.

Les figures correspondant à la même formule pour le cas de $n=4k+2$ ne sont pas aussi simples, mais s'obtiennent facilement par construction successive des côtés en modifiant comme il a été dit le procédé de Baltzer.

Un point multiple d'ordre $\mu$ qui se présenterait dans la construction devrait être considéré comme équivalent à $\frac{1}{2}\mu(\mu-1)$ points doubles. Mais tous les points doubles d'un polygone ne peuvent pas se rassembler en des points multiples. C'est ainsi, par exemple, que les points doubles d'un pentagone sont toujours distincts. Un octogone peut présenter quatre points triples avec des points doubles qui restent toujours distincts. Il peut également présenter un point quadruple et deux points triples avec des points doubles. La détermination générale du nombre possible des points multiples ne paraît pas facile.

Bordeaux, 5 mars 1894.

Digitized by Google

# PROTOPLASME ET NOYAU

PAR M. J. PÉREZ,

PROFESSEUR DE ZOOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES.

---

Le 8 novembre 1868, à Édimbourg, Th. Huxley faisait sur le protoplasme une conférence qui eut un grand retentissement. Avec la profondeur de vues qui lui est propre, l'illustre savant développait cette idée « qu'il y a une sorte de matière unique commune à tous les êtres vivants, qu'une unité physique, aussi bien qu'une unité idéale, réunit leurs diversités infinies. » Dans tous ces êtres si dissemblables par la forme, la composition, les facultés, une seule et unique substance, susceptible de variations illimitées, mais au fond toujours la même, est le siège et l'agent de toutes les manifestations de la vie. En elle résident toutes les propriétés de tout être vivant, depuis les plus obscures et les plus infimes, jusqu'aux facultés de l'ordre le plus élevé, le plus noble. Elle est « la base physique de toutes les diversités de l'existence vitale, » elle est la « BASE PHYSIQUE DE LA VIE ».

Cette substance, composée des quatre éléments chimiques, oxygène, hydrogène, carbone, azote, unis dans des proportions très complexes, est le protoplasme. D'où qu'elle provienne, végétal ou animal, quels que soient ses formes et ses aspects divers, cette matière fondamentale se trouve toujours composée de ces mêmes éléments, se comporte de la même manière en présence des réactifs. Elle est une. Elle est en même temps infiniment variable. Il y a longtemps que les chimistes, trouvant une même composition élémentaire à toutes ces substances quaternaires qui forment les tissus des êtres vivants, et recon-



Digitized by Google

naissant leur analogie avec le blanc de l'œuf ou albumen, leur ont donné le nom de substances albuminoïdes. Considérant, d'autre part, leurs métamorphoses multiples, ils les ont aussi appelées du nom expressif de substances protéiques.

Substances protéiques, substances albuminoïdes ne sont que des manières d'être du protoplasme, de la matière qui, selon l'expression restée célèbre de Huxley, est « la base physique de la vie ».

Si grandes que soient les variations constatées par le chimiste dans cette substance, bien autres sont celles que le physiologiste y observe. Il n'est peut-être pas dans la nature de fait plus saisissant que la variabilité incessante et illimitée de la matière vivante, unie à son inaltérable unité. Edm. Perrier a pu dire qu'il n'y a pas un protoplasme, mais une infinité de protoplasmes divers. Personne, d'ailleurs, mieux que le brillant auteur des *Colonies animales,* n'a fait ressortir la stupéfiante variabilité de cette substance dans le corps gélatineux des Protozoaires. Mais que dire en présence des modalités inouïes qu'elle revêt chez les animaux supérieurs? Différences d'un élément organique à l'autre dans un même animal, différences de la même espèce d'éléments dans la série, la variation est dans toutes les directions et à tous les degrés. D'où que provienne une fibre musculaire, du haut au bas de l'échelle animale, l'histologiste y reconnaît une même structure générale, le physiologiste la même propriété contractile. Elle n'est cependant pas identique d'une espèce à l'autre, même entre deux espèces très voisines. Et le sang qui, dans chaque animal, est la vie de tous les éléments organiques, est-il rien de plus extraordinairement variable? Quelques gouttes du sang d'un mollusque tuent un vertébré. Le sang d'une lamproie ou d'une salamandre est un poison pour le mammifère et l'oiseau.

Ces variations, si extraordinaires soient-elles, s'exercent sur un fonds toujours le même. S'il n'y a pas au monde deux cellules identiques, il n'est pas moins vrai que toutes les cellules se ressemblent par des traits communs. C'est cette analogie

Digitized by Google

fondamentale qui nous importe ici, et c'est elle seule que nous considérerons, dans les pages qui vont suivre, faisant abstraction des variations. Celles-ci, du reste, par leur infinité même, montrent bien qu'elles ne sont pas essentielles, dans ce sens qu'un fait fondamental, qu'elles n'atteignent pas, les domine. Dans un autre sens, elles ne sont pas moins essentielles que le fonds invariable, puisqu'elles sont constamment existantes. Sans doute elles sont liées à cette propriété générale de la matière vivante, la nutrition, c'est-à-dire à l'échange incessant des éléments chimiques qui la composent.

A la vérité, il est souvent fort difficile de reconnaître, sous les mille et mille formes définies qu'affecte la matière vivante, l'unité qui vient d'être affirmée. Des adaptations diverses, c'est-à-dire le développement à divers degrés et en des directions variées d'une ou plusieurs des propriétés premières de cette substance, la métamorphosent à tel point, surtout chez les êtres supérieurs, qu'elle devient méconnaissable. Comment retrouver, dans une fibre musculaire, une cellule nerveuse, un épithélium glandulaire, un poil du tégument, la même substance qui fait le corps d'une Amibe ou d'un Radiolaire? La science y parvient par deux voies également sûres : la comparaison des éléments définitifs de même ordre dans la série et l'étude du développement de chacun de ces éléments dans l'embryon. Dans le premier cas, des variations par degrés insensibles ramènent chaque sorte d'éléments au plus simple d'entre eux, la cellule; dans le second, on voit cette même cellule, primitivement indifférente, donner, par une série de transformations que l'on suit pas à pas, les différents éléments de l'adulte. Chacun de ces éléments est donc une cellule ou une cellule modifiée, c'est-à-dire un corps protoplasmique muni d'un noyau, lui-même de nature protoplasmique. Tout organisme, si élevé qu'il soit, est, à son début, composé uniquement de cellules, plus tard de cellules diversement modifiées. (Huxley.)

Mais il est des êtres moins compliqués, chez lesquels ces

Digitized by Google

organites élémentaires conservent toujours leur structure première, leur nature originelle. Ces êtres sont toute leur vie des agrégats de cellules similaires, des cellules de tout point comparables à celles qui constituent l'embryon à peine ébauché de l'animal supérieur, ou à celles qui se trouvent le moins modifiées chez l'adulte, telles que les globules blancs de la lymphe et du sang.

Des êtres encore plus simples sont réduits à un de ces mêmes éléments isolé. Ils sont « comme un globule de la lymphe menant une vie indépendante ». Il est des végétaux et des animaux unicellulaires.

Est-ce tout? Avons-nous atteint le dernier terme de la simplicité? Pas encore, selon Hæckel. On conçoit un organisme encore plus simple qu'une cellule, qu'une masse de protoplasme entourant un noyau. Supprimons le noyau, nous arrivons au degré le plus bas de l'échelle biologique. Une particule de protoplasme, de la matière première de la vie, c'est là tout un animal, toute une plante. C'est moins qu'une cellule, c'est une *cytode*.

Pour ces êtres, auxquels il attachait une grande importance théorique, Hæckel a créé le nom de *Monères*.

Huxley insiste sur l'idée, d'ailleurs incontestable, que le protoplasme est composé d'éléments qui ne lui appartiennent pas en propre, mais qu'il emprunte au règne minéral. Il n'existe pas, comme le croyait Buffon, de « molécules organiques », une substance spéciale exclusivement réservée à la vie.

Ce n'est pas tout. Pour avoir été entraînés dans le tourbillon vital, l'hydrogène, l'oxygène, le carbone, l'azote n'ont rien gagné, rien perdu de leur essence et de leurs propriétés. Leur association dans la substance animée n'a donc engendré aucune force nouvelle. Les phénomènes spéciaux manifestés par cette substance, et qu'on n'observe pas dans ses éléments séparés, sont le résultat du mode de groupement de ces éléments et de leurs réactions réciproques dans le système qu'ils forment. Une

Digitized by Google

*force vitale* est une entité tout aussi illusoire et non moins inutile que pourrait l'être l'*aquosité,* une force qu'on imaginerait pour expliquer les propriétés du liquide formé par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène, propriétés qui n'existent pas dans les deux corps à l'état libre.

Un abîme infranchissable ne sépare donc point le monde de la vie de la nature inorganique. La vie n'est point un fait irréductible. La vie est une transformation de l'énergie inhérente à la matière. Il est légitime d'admettre que le premier être vivant dut prendre naissance dans le milieu inorganique par le jeu naturel des forces physiques.

La doctrine transformiste, d'autre part, conduit irrésistiblement à la formation naturelle des premiers êtres vivants. Après avoir ramené l'évolution de la vie dans le temps à une loi naturelle, on ne peut se dispenser d'y réduire également son origine.

Certains esprits tiennent des spéculations de cette nature pour absolument vaines, et même les proscrivent comme contraires à la véritable discipline scientifique. On peut cependant remarquer qu'un illustre géomètre ne crut pas faire œuvre inutile quand il exposa, dans une brillante hypothèse, la manière dont il concevait la formation des corps célestes. On a pu critiquer certains détails de la conception de Laplace; on ne la lui reprocha jamais comme indigne de son génie, indigne de la science. S'il est permis de faire des hypothèses sur le système du monde, pourquoi seraient-elles interdites pour le système de la vie? Serait-ce parce que les secondes nous touchent de plus près? Hypothèses non vérifiables, dit-on encore, hypothèses inutiles. S'il est des hypothèses qui, par leur nature, échappent au contrôle de l'observation et de l'expérience, ce sont évidemment celles qui concernent l'origine des mondes, bien plus que celles qui ont pour objet l'origine de la vie. Une telle considération n'a pas arrêté tant de naturalistes éminents, qui ont cru devoir exposer leurs idées sur le mode de formation des premiers êtres vivants. Quelques-uns même, trop impa-

Digitized by Google

tients, ont cru que la question était déjà mûre pour l'expérience. Ils se sont trompés. Est-ce à dire que l'on se trompera toujours? que l'erreur est ici inévitable, nécessaire? Nul ne le sait, et nul n'a le droit de le dire.

Il ne s'agit nullement, il faut bien l'entendre, de la génération spontanée telle qu'on la comprenait encore il y a quelques années. Les belles expériences de Pasteur ont suffisamment démontré que les microzoaires et les microphytes, objets de si vifs débats, ne peuvent se reproduire que par les voies ordinaires de la génération. Et si l'on y réfléchit, on voit en effet que, si petits, si simples que soient un infusoire, un vibrion, une monade, ce sont néanmoins des êtres qu'il est possible de caractériser par la présence de parties distinctes, tout au moins par leur forme définie, jouissant de propriétés vitales d'une énergie parfois très grande et d'une vive excitabilité. Des organismes à tout prendre aussi complexes présentent trop évidemment les effets d'une longue existence spécifique et d'une adaptation trop parfaite pour être des créations primordiales. Si la vie a pu sortir un jour de ce qui n'était pas la vie, si un tel phénomène, dans des conditions que la science ignore, était encore aujourd'hui dans les procédés de la nature, il est évident, *a priori*, que ces ébauches de l'organisation ne peuvent se concevoir autrement que vagues et indéterminées.

Que purent donc être ces organismes primordiaux? Et tout d'abord, quels sont, actuellement, les êtres les plus simples qui existent, ceux que l'on peut regarder comme les représentants actuels des premiers êtres vivants?

Ce seraient évidemment les Monériens de Hæckel. Les Monères cytodiques, plus simples, ont dû précéder les animaux cellulaires, plus complexes. Et les Monères actuelles seraient les représentants modernes des Monères primitives.

Grâce à leur simplicité, ces êtres purement protoplasmiques ne semblent pas opposer à la théorie autant de difficultés que les microzoaires et les microphytes des hétérogénistes. Le

Digitized by Google

célèbre professeur d'Iéna s'évertue d'ailleurs, comme à plaisir, à nous les présenter sous le jour le plus favorable à ses conceptions. Il ne veut voir dans ces petites masses de matière albuminoïde qu'« un simple composé chimique amorphe, sans structure, » des êtres vivants réalisant l'idée, tout au moins originale, de la vie sans l'organisation.

Les célèbres expériences de Pasteur, bien qu'elles n'aient point eu pour objet les monères les plus simples, ne sont pas moins valables pour ces organismes. Il n'est pas un naturaliste qui puisse en douter. Mais il est essentiel de reconnaître aussi que les conclusions de l'illustre savant ne sauraient être prises pour la négation absolue de la possibilité de la génération spontanée. « On a seulement démontré, dit justement Gegenbaur, que, dans certaines conditions, il ne naît pas d'êtres organisés. Cela n'exclut pas la possibilité que, sous d'autres conditions qui n'ont pas encore été réalisées, ils ne puissent prendre naissance, d'autant plus que, pour la première origine de l'être, la porte ne peut pas être fermée à l'admission d'une génération primitive (1). » Restriction pleinement justifiée, nous permettrons-nous d'ajouter, car, à moins de prétendre qu'il est dans la nature des faits d'ordre surnaturel, partant soustraits à l'investigation scientifique, la vie, comme toutes choses, est l'effet de causes naturelles. Comme telle, elle relève, à tous égards, de la science, et son origine sera tôt ou tard infailliblement atteinte par l'expérience.

On pourra donc contester l'opportunité actuelle de certaines recherches, leur dénier même toute portée véritable; mais on ne saurait condamner les espérances, blâmer la curiosité de tant d'esprits distingués qui se sont préoccupés de la première apparition de la vie sur le globe, de tous ces naturalistes qui de nos jours cherchent à découvrir comment le protoplasme, cette « base physique de la vie », a pu se produire dans un milieu inorganique. On peut convenir que la théorie dite du

(1) *Manuel d'anatomie comparée*, p. 65.

Digitized by Google

carbone, par exemple, ou encore celle du cyanogène, qui prétendent rendre compte de cette formation, n'ont pas fait avancer d'un pas la solution du problème. Mais il ne s'ensuit nullement que le problème soit insoluble.

C'est ainsi qu'on a vu récemment plusieurs naturalistes, entre autres Quincke, Bütschli, Verworn, tenter la réalisation artificielle du protoplasme à l'aide de diverses substances n'ayant d'ailleurs aucun rapport avec la matière vivante. Ces patientes études, curieuses peut-être pour le physicien, sont absolument dénuées d'intérêt pour le physiologiste; aussi ne semble-t-il pas utile d'en faire ici l'analyse. Une remarque suffit : dans toutes ces expériences, on n'a rien, véritablement, du protoplasme. Ni la substance n'est la même, ni les forces qui déterminent les mouvements observés. Bütschli (1), par exemple, dans son émulsion d'huile d'olive et de carbonate de potasse, a cru retrouver, avec la structure vacuolaire qu'il avait antérieurement reconnue au protoplasme, les mouvements, les courants qu'on y observe dans un protozoaire vivant. Mais il est de toute évidence qu'il a réalisé tout au plus le schéma de cette structure vacuolaire; tout le reste diffère, autant la composition chimique que les forces qui, dans l'un et l'autre cas, produisent les mouvements. Et nous demeurons aussi ignorants que devant sur les propriétés de la matière vivante, et nous sommes tout aussi éloignés de l'art de la reproduire.

De tels essais sont donc absolument inutiles. A supposer même qu'on fît beaucoup mieux, qu'un expérimentateur fût assez habile pour produire la synthèse d'une substance ayant la composition même du protoplasme, il n'aurait pas encore réalisé pour cela le protoplasme vivant, s'il ne lui avait en même temps donné l'état moléculaire particulier de la substance vivante. C'est assez dire que le problème est beaucoup moins simple qu'on n'a souvent paru le penser.

---

(1) *Untersuchungen über mikroskopische Schaüme und das Protoplasma*, 1892.

Digitized by Google

Si, depuis un certain nombre d'années, toutes les spéculations ou tentatives expérimentales ayant trait à la production artificielle de la matière vivante n'ont cessé d'avoir en vue la réalisation du protoplasme, ce n'est pas uniquement parce qu'il est, de toutes les substances douées de vie, celle dont la constitution paraît la plus simple; mais c'est aussi en vertu de cette double considération :

1° Que les premiers êtres vivants devaient être exclusivement formés de protoplasme;

2° Qu'aujourd'hui encore, les êtres les plus inférieurs sont ainsi constitués.

De ces deux propositions, la première n'est forcément qu'une hypothèse; la seconde est à examiner.

Mais il nous faut d'abord rappeler un événement qui, il y a quelque vingt-cinq ans, fit grand bruit dans le monde scientifique, en apportant, croyait-on, à la théorie qui nous occupe une donnée positive d'une valeur considérable, en même temps qu'une confirmation inattendue.

Une émotion profonde vint saisir les naturalistes, à l'annonce de la découverte faite par Huxley du célèbre *Bathybius*. On avait mieux que les Monériens de Hæckel. Les Monères sont des individus, bien qu'on ait cru quelquefois pouvoir leur contester cette dignité [1]. Le *Bathybius* était manifestement dépourvu d'individualité. Cette matière informe et diffuse, gelée vivante étalée au fond de l'Océan, était bien la réalisation la plus parfaite qu'on pût rêver de la matière animée à son état le plus simple. On retrouvait en elle, conservé jusqu'à nos

(1) Preyer dit : « Le protoplasma n'est pas individualisé, puisqu'il peut être divisé en plusieurs fragments dont chacun continue à vivre et se comporte comme le tout primitif d'où il est issu. La perte de l'individualité éphémère ou de l'existence séparée de plusieurs individus protoplasmiques de ce genre, qui confluent ensemble pour former une sorte de syncytium, prouve la même chose. » (*Éléments de physiologie générale*, trad. de Jules Soury, p. 172.) Il y a, dans ces lignes, une double erreur : l'existence non démontrée d'individus protoplasmiques (Monères) et la survivance de fragments de protoplasme, démentie par l'expérience. (V. plus bas.)


Digitized by Google

jours, à travers les âges géologiques, l'*Urschleim* des philosophes de la Nature, cette substance primordiale, matrice commune de tous les êtres vivants, telle qu'elle dut sortir, dans une simplicité idéale, de la matière inorganique. On conçoit la joie de Huxley à la vue de cette merveille, la joie de Hæckel, à qui il s'empressa de la dédier.

Simple, logique, le système ne laissait plus rien à désirer. A l'origine, le protoplasme diffus et dénué d'individualité, telle fut la première ébauche de la vie. Des parcelles de cette gelée vivante s'isolent et acquièrent l'existence personnelle. Ce sont les Monères, les premiers individus. Par suite d'un nouveau perfectionnement, le noyau surgit dans ces parcelles de protoplasme. La cytode s'élève à la dignité de cellule. La cellule n'a plus qu'à se modifier et se perfectionner sous la double loi de l'association et de la division du travail. Ainsi se résume l'histoire de la naissance et de l'évolution de la vie.

L'enthousiasme ne fut pas de longue durée. On sait les vives attaques qui accueillirent le nouveau venu dans le monde des Protistes. Sulfate de chaux précipité par l'alcool dans l'eau de mer, ou mucus détaché du corps des animaux ramenés par la drague et mêlé au limon des profondeurs (C. Vogt), le chef de file des Monériens se vit contester la qualité d'être vivant. C'est en vain qu'il a été rebaptisé depuis sous les noms de *Protobathybius* (Bessels) et de *Bathybiopsis* (de Follin). Ces nouvelles appellations ne suffisent pas à lui constituer des titres à l'existence, en tant que matière vivante, se nourrissant et se reproduisant. S'il reçoit encore l'honneur d'une mention dans les ouvrages sérieux, il semble que ce ne soit plus qu'à titre de document historique [1].

La théorie n'en était pas pour cela compromise. Restaient

[1] S'il fallait considérer le *Protobathybius* de Bessels comme une colonie plasmodique d'*Hæckelina*, selon l'ingénieuse hypothèse d'Edm. Perrier (*Les Colonies animales*, p. 66), la célèbre monère ne serait sauvée du néant qu'en s'élevant au rang d'organisme cellulaire et perdant par là même toute son importance théorique.

Digitized by Google

toujours les Monères : Hæckel, par avance, l'avait déclaré lui-même : « Que le Bathybius existe ou n'existe pas, les Monères demeurent la pierre angulaire de la théorie de l'évolution. »

Examinons donc de près maintenant ces Monères, et voyons si elles satisfont véritablement aux interprétations simplistes du célèbre professeur d'Iéna.

Les premières idées des naturalistes concernant le noyau des cellules n'étaient pas en faveur d'une grande importance de ce corps pour la vie cellulaire. Il n'y a pas longues années, les botanistes se refusaient même à lui reconnaître une signification quelconque. Une très jeune cellule, pour eux, était un globule plein, uniquement formé de protoplasme homogène; plus âgée, on voyait un noyau s'y produire par différenciation et condensation d'une partie du protoplasme, et ce noyau, s'accolant à la paroi, étranger en quelque sorte aux phénomènes de nutrition et autres qui se passaient en sa présence, subissait d'ordinaire une régression dont le terme était sa disparition totale. Tout un groupe considérable de végétaux, les Champignons, comptait au nombre de ses caractères les plus importants précisément l'absence de tout noyau.

Les zoologistes reconnurent de bonne heure la généralité de l'existence de cet élément dans les cellules animales, et, sans avoir encore d'idées bien arrêtées sur sa signification, n'hésitaient pas à lui attribuer une grande importance. Elle ne tarda pas à être péremptoirement démontrée par les observations sur les phénomènes de la division cellulaire et de la segmentation de l'œuf. Le rôle du noyau s'y montrait tellement manifeste, que les botanistes ne tardèrent pas à suivre les zoologistes dans leurs interprétations et collaborèrent à leurs recherches. Il serait difficile de dire qui, des uns ou des autres, a le plus contribué, dans ces derniers temps, à la connaissance des phénomènes de la vie cellulaire.

Les résultats de toutes ces recherches sont loin d'être favorables à la conception de Hæckel. On a vu de jour en jour diminuer successivement le nombre des organismes dépourvus

Digitized by Google

de noyau. Les Champignons, si longtemps cités comme une exception remarquable, sont rentrés dans la règle commune. « Depuis que Schmitz et Strassburger ont ouvert la voie, dit W. Zopf [1], on est convaincu que le noyau y sera constaté toutes les fois qu'on en fera la recherche par des méthodes convenables. »

On définissait jadis les *plasmodes* des masses de protoplasme sans noyau. Nées de corps nucléés qui perdaient leurs noyaux en fusionnant leur protoplasme, ces masses, chez les Myxomycètes notamment, engendraient plus tard de nouveaux noyaux par un procédé inexpliqué, une sorte de genèse spontanée, difficulté qui ne semblait pas d'ailleurs préoccuper les physiologistes. La démonstration de la présence constante de noyaux dans les plasmodes a supprimé toute difficulté, et en même temps un exemple encore de protoplasme indépendant, bien plus, de protoplasme générateur de noyaux cellulaires.

Pour ce qui est des Protozoaires, les travaux de Max Schultze, de R. Hertwig ont montré que les Rhizopodes marins ne se distinguent nullement, comme on l'avait cru jadis, des Rhizopodes d'eau douce, par l'absence de noyaux, qu'on avait déjà depuis longtemps reconnus dans ces derniers.

Quant aux Monériens protoplasmiques de Hæckel (Lobomonériens et Rhizomonériens), s'ils ne sont point encore définitivement supprimés des cadres systématiques, ils n'inspirent plus grande confiance aux naturalistes. On accordera sans peine qu'une *Protamœba*, sauf l'absence de noyau, ne se distingue guère des Amibes nucléées. Est-il probable que des êtres si semblables par ailleurs puissent différer par la présence ou l'absence d'un organe dont le rôle est reconnu si important? Remarquons toutefois que si, grâce à des procédés plus parfaits, un noyau venait à être reconnu dans une *Protamœba*, — fût-ce la *primitiva* elle-même, — il serait toujours possible de soutenir qu'on avait eu affaire à une *Amœba* véritable et non à une *Protamœba*.

(1) *Die Pilze*, dans le *Handbuch der Botanik* de Schenck.

Digitized by Google

La même fin de non-recevoir n'est plus de mise pour un Rhizomonérien, organisme mieux défini par son volume, sa forme et parfois sa coloration. Or, les *Vampyrella* possèdent positivement un noyau, personne ne peut en douter aujourd'hui. Zopf, en particulier, le figure chez diverses espèces, dans son ouvrage sur les Mycétozoaires ([1]). Je l'ai moi-même maintes fois observé chez la *Vampyrella spirogyræ.*

Nous nous occuperons un instant d'un des Rhizomonériens les plus remarquables, la *Protomyxa aurantiaca,* que, seul jusqu'à ce jour, Hæckel a eu l'avantage d'observer, et dont il a fait connaître en détail le mode de nutrition et de développement. Cet être singulier, vrai Rhizopode dans sa forme adulte, est un Myxomycète de type inférieur par son mode de reproduction. On sait qu'après enkystement préalable il se segmente suivant la loi de la division cellulaire. Dans le cas de la cellule, le noyau préside à la division; il en est le point de départ, le *primum movens.* Le protoplasme est passif dans la production du phénomène et ne fait que subir une influence qui lui est extérieure, même dans l'hypothèse, non démontrée, que les centrosomes procèdent du protoplasme et non du noyau ([2]). Est-il possible d'admettre à la fois que là où le noyau existe, ce soit lui qui détermine la segmentation et que, en son absence, la segmentation se produise en vertu des

---

([1]) W. Zopf, *Die Pilzthiere oder Schleimpilze,* 1885.

([2]) Les recherches de Julin sur la fécondation des Ascidies (*Bulletin scientif. de la France et de la Belgique,* t. XXV, 1893) conduisent ce savant à attribuer aux centrosomes du premier fuseau de segmentation une origine nucléaire, contrairement à l'opinion d'un grand nombre d'observateurs, qui font provenir ces organites du protoplasme cellulaire (V. surtout : Guignard, *Nouvelles Études sur la fécondation, Ann. sc. nat. Bot.,* 7e sér., t. XIX). Ce serait le noyau spermatique, selon Julin, qui fournirait ces centrosomes. J'ai moi-même, il y a près de quinze ans (*Journal de l'Anat. et de la Physiol.,* de Ch. Robin, 1879) attribué une origine nucléaire au centrosome. J'ai figuré ce corpuscule avec la forme que lui donnent aujourd'hui tous les observateurs et reconnu en lui le centre d'attraction qui détermine la division, alors que E. van Beneden lui refusait toute importance. Mais ce n'est point le spermatozoïde, à mon avis, qui lui donne naissance, mais bien le noyau cellulaire, dans l'intérieur duquel existent deux centrosomes, avant le début des phénomènes caryocinétiques. J'aurai à revenir sur ces faits dans un travail spécial.

Digitized by Google

seules propriétés du protoplasme? N'est-il pas plus naturel de penser que, dans la *Protomyxa,* comme dans une cellule, un noyau existe, qui en est le point de départ? Autant en peut-on dire des *Protamœba* qui, sans noyau, selon Hæckel, se divisent comme les *Amœba,* qui en possèdent.

Que Hæckel n'ait pas su voir de noyau dans la *Protamœba,* cela se conçoit. « La constatation du noyau dans les Amibes, dit W. Zopf (1), présente des difficultés particulières, qui viennent de ce que ce corps est entouré et caché par des granules de protoplasme ou des corps étrangers absorbés. Il faut, pour l'observer, choisir des individus libres d'ingesta et de granulations. » J'ai pu vérifier la parfaite exactitude de cette remarque, et vu avec la plus grande facilité le noyau de petites amibes presque entièrement transparentes. Il y a lieu d'observer d'ailleurs que les figures qui ont été données de la *Protamœba primitiva* montrent au centre un espace clair, manifestation ordinaire de la présence d'un noyau dans un milieu granuleux.

Les cytodes se divisant comme les cellules, le principe de leur division, on n'en saurait douter, doit être le même et résider dans un noyau. Mais il y a plus encore. Avant d'avoir atteint la phase dernière de son évolution, la forme adulte avec ses multiples radiations sarcodiques, la *Protomyxa* a été une véritable Amibe, disons plutôt une Protamibe, pour mieux entrer dans les vues de Hæckel. Ceci pourrait paraître les confirmer, puisque la Lobomonère, dans la systématique de l'auteur, est d'un degré inférieur à celui de la Rhizomonère. Mais il n'en est rien. Cette phase amiboïde de la *Protomyxa* n'est pas la première. Elle a été précédée elle-même par une autre, celle de zoospore. Or la zoospore, particulièrement chez les Myxomycètes qui ressemblent le plus à la *Protomyxa,* possède incontestablement un noyau (v. Zopf, p. 8, etc.). Mais il nous faut remonter plus haut encore. Les zoospores issues du kyste proviennent des éléments que ce kyste

(1) *Die Pilzthiere oder Schleimpilze,* p. 15.

Digitized by Google

renferme au terme de la segmentation. Ces éléments sont véritablement les formes les plus jeunes et les plus simples de la *Protomyxa*. C'est en eux que nous devons donc retrouver sa forme ancestrale, si elle existe quelque part dans le cycle évolutif de sa vie actuelle. Or, que sont ces éléments, quelle en est l'organisation, ce n'est pas à Hæckel que nous pouvons le demander. Mais tout ce que l'on sait par ailleurs de l'évolution des organismes en général, nous apprend que ces éléments, chez la *Protomyxa*, doivent être ce qu'on les voit partout où ils ont été étudiés, des globes de protoplasme renfermant un noyau volumineux.

L'absence de noyau chez la *Protomyxa* est donc plus que douteuse. Elle est en désaccord avec un grand nombre de faits dont la certitude est établie; elle n'est favorable qu'à une hypothèse particulière, pour l'édification de laquelle cette absence était une nécessité. Il est certain que tous ces êtres protoplasmiques ne tarderont pas, comme l'ont fait les Champignons, à cesser d'être une exception, un disparate parmi les êtres qui leur ressemblent le plus.

Conséquent dans son système et fidèle, jusque dans ses erreurs, à la théorie de l'évolution, Hæckel ne pouvait borner à quelques êtres inférieurs sa théorie de la cytode. Les organismes les plus compliqués, dérivés par filiation d'organismes cytodiques, doivent, dans la première phase de leur évolution, reproduire l'état de leurs premiers ancêtres. Nous devons les retrouver tous, à un moment donné, à l'état de monère. Et Hæckel voyait cette phase monérienne dans l'œuf avant la segmentation, dans l'œuf venant de perdre sa vésicule germinative.

Combien la théorie parlait ici bien plus que les faits, on ne tarda pas à le reconnaître. Hæckel était, en effet, dupe d'une double erreur.

La disparition de la vésicule germinative dans l'œuf, peu de temps avant la segmentation, était, il y a une trentaine d'années,

Digitized by Google

admise par la généralité des naturalistes. Quelques-uns cependant, et j'ai pour ma part été toujours du nombre, pensaient autrement, et croyaient que la vésicule germinative se continuait génétiquement en le noyau de segmentation. Hæckel, partageant la croyance générale, pouvait bien admettre qu'à un moment donné l'œuf revenait à l'état de monère. Mais la filiation qui relie le noyau de segmentation à la vésicule germinative est un fait définitivement acquis aujourd'hui; l'œuf mûr ne passe point par l'état de monère.

Sa seconde erreur consistait à prendre, comme représentant l'état primordial de l'organisme, l'œuf au terme de sa formation, l'œuf parvenu à maturité. L'œuf mûr est déjà lui-même un organisme arrivé au terme d'une longue série de changements. D'après le principe même invoqué par Hæckel, si l'on veut retrouver dans l'œuf l'image de l'être vivant le plus simple, de l'être vivant à son origine, c'est à sa naissance qu'il faut le prendre et non à sa maturité. On a peine à comprendre que Hæckel ait pu si étrangement interpréter les faits, se méprendre à ce point sur l'application d'une des lois les plus essentielles de l'évolution.

Or, qu'est l'œuf dès l'instant où il apparaît dans l'ovaire, au moment où il naît par division d'une cellule mère? L'œuf naissant n'est pas non plus une monère. Il n'est pourtant qu'à peine une cellule; il n'est véritablement qu'un *noyau,* entouré d'une très mince couche de protoplasme.

L'œuf-monère n'existe donc à aucun moment de sa vie. C'est là un résultat que nul ne pourrait contester aujourd'hui, et il n'est pas besoin d'insister sur l'importance d'une donnée en contradiction aussi formelle avec l'hypothèse des Monères et la théorie des cytodes.

Les Schizomycètes forment un groupe important des Monériens de Hæckel, les Tachymonériens, le troisième de son système.

Il est fort embarrassant de parler de ces êtres ambigus, dont

Digitized by Google

la véritable nature est encore si incertaine et laisse tant de difficultés à résoudre. Leur petitesse n'est pas la plus grande qu'ils présentent. Le peu de rapports qu'ils ont avec la plupart des autres microzoaires ou microphytes en est une beaucoup plus sérieuse. Ils n'ont, en tout cas, malgré le rapprochement effectué par Hæckel, aucune affinité réelle avec les deux premiers groupes de ses Monères. La privation de noyau qui leur est attribuée est évidemment l'unique motif de la juxtaposition d'organismes aussi disparates. Hormis ce caractère négatif, tout diffère. Les uns sont formés de protoplasme mou, incessamment mobile; les autres, doués d'une consistance marquée, ont des formes définies, des contours arrêtés; au lieu de mouvements protéiques, ils exécutent des oscillations, des trépidations, des rotations spiroïdes, ou bien ils sont parfaitement immobiles.

La grande question est de savoir s'ils ont ou non un noyau. L'opinion générale, jusqu'en ces dernières années, a été pour la négative. Toutes les recherches pour découvrir dans ces organismes un corpuscule que l'on pût déterminer comme un noyau avaient échoué. Grâce au progrès de la technique, des propriétés nouvellement reconnues dans la substance qui les constitue ont fini par modifier l'idée qu'on s'en était faite.

On ne possédait guère, il y a quelques années, d'autres caractères distinctifs des Schizomycètes que leur résistance aux réactifs puissants, acides et alcalis, qui dissolvent les éléments d'origine animale. Plus récemment, grâce à de nombreux travaux, parmi lesquels ceux de Weigert sont à mettre en première ligne, on a tiré de grands avantages des réactifs colorants, que ces microrganismes fixent avec une grande énergie. Ils absorbent toutes les matières qui colorent les noyaux des cellules; mais ils manifestent une affinité toute particulière pour les couleurs d'aniline. Or, on sait que le protoplasme est à peine ou pas colorable par ces substances. Les Schizomycètes manifestent donc par là une nature nucléaire incontestable.

Il faut dire que Weigert lui-même a reconnu que certaines





matières colorantes des noyaux ne colorent pas certains bacilles, colorables d'ailleurs par l'aniline. Mais qu'est-ce à dire? Tous les noyaux de cellules eux-mêmes ne sont pas également colorables par tous les réactifs. Il n'y a donc rien d'étonnant que les diverses bactéries jouissent pareillement d'une affinité particulière vis-à-vis des colorants. L'exception signalée n'a pas d'importance et s'explique. Elle ne peut porter la moindre atteinte à la conclusion que les Schizomycètes sont des noyaux. Loin d'être du protoplasme sans noyau, comme le voulait Hæckel, ce sont précisément des noyaux sans protoplasme.

Bütschli (1) cependant, dont les idées sont partagées par Frenzel et Zaccharias en ce qu'elles ont d'essentiel, considère ces organismes comme de véritables cellules, possédant corps cellulaire et noyau. Il y reconnaît un corps central *(Centralkörper)*, constituant la majeure partie de la cellule, et une couche enveloppante. Le corps central possède une structure alvéolaire *(wabenförmig)*; il contient des granules d'une substance colorable à un haut degré par les réactifs, que l'auteur détermine en conséquence comme de la nucléine. Le corps cellulaire ne consisterait qu'en une mince enveloppe entourant le noyau.

Wahrlich (2), comme Bütschli, reconnaît deux substances, l'une centrale et alvéolaire, fortement colorable, et par suite de nature nucléaire, l'autre, moins sensible aux réactifs, représentant une membrane cellulaire. Les Bactéries seraient ainsi de simples noyaux immédiatement entourés par la membrane cellulaire, sans interposition de cytoplasma.

La détermination que fait Wahrlich de la couche extérieure des Bactéries ne paraît pas acceptable. Le propre de la membrane cellulaire est d'entourer le corps protoplasmique de la cellule et non le noyau. Elle est une différenciation de la couche superficielle du protoplasme, et ne saurait donc exister sans lui. Elle pourrait plutôt représenter le corps cellulaire,

(1) *Ueber den Bau der Bakterien und verwandter Organismen*, 1890.
(2) *Barkteriologische Studien* (*Scripta botanica*, t. III, 1890).

Digitized by Google

selon l'opinion de Bütschli. Mais cette interprétation n'est pas sans présenter aussi de grandes difficultés. Cette enveloppe est azotée, cela est certain ; mais elle est aussi très résistante, si bien que l'on a pu croire que, chez certaines bactéries, elle contenait de la cellulose. Contrairement à ce que l'on voit dans le corps de la cellule et aussi dans sa membrane, elle est colorable par les réactifs, comme le reste de l'élément, bien qu'à un degré beaucoup moindre. Elle serait donc plutôt de nature mucléaire elle-même.

Avant que l'action des réactifs colorants eût montré les frappantes analogies de ces organismes avec les noyaux cellulaires, d'autres considérations m'avaient convaincu de leur nature nucléaire. Elles étaient tirées, en premier lieu, de leur mode de multiplication. Quand un de leurs éléments se divise, on n'y observe point les phénomènes bien connus de la division cellulaire. On en peut donc induire tout d'abord que ce ne sont point des cellules.

On voit la division débuter par un étranglement médian, qui se prononce de plus en plus ; le corpuscule prend la forme dite de biscuit, finalement se dédouble en deux corpuscules semblables. Tel est le schéma auquel sont fidèles tous les Schizomycètes de forme globuleuse ou ellipsoïde, et auquel on peut ramener sans peine la multiplication de ceux qui se développent en longs filaments.

C'est la division dite directe, telle qu'on l'observe dans un noyau simple, non vésiculeux, comme il en existe par exemple chez les Amibes, ou dans le nucléole d'un noyau vésiculeux. Formé, comme l'un et l'autre de ces deux corpuscules, d'une substance homogène, le Schizomycète se segmente par le même procédé. Il ne peut présenter ni les phénomènes de caryocinèse qu'on observe dans l'intérieur d'un noyau distinct en membrane d'enveloppe, liquide nucléaire et nucléole, ni ceux qui se produisent en dehors du noyau, dans le protoplasme, puisqu'il ne possède autour de lui ni membrane propre, ni corps protoplasmique.

Digitized by Google

Je n'ai point ajouté : ni nucléole. C'est que Paul Ernst [1] dit avoir vu dans diverses bactéries de petits corps très colorables par certains réactifs, qui apparaissent surtout dans les cas de développement ralenti, et peu de temps avant la formation des spores, lesquelles, suivant l'auteur, dériveraient de la transformation de ces corpuscules. Ernst n'est pas seul à avoir observé ces petits éléments. Mais quant à admettre avec lui qu'ils sont, dans les cellules bactériennes, les équivalents des noyaux dans les végétaux supérieurs, cela paraît difficile. Il faudrait tout au moins qu'il fût établi que la Bactérie est un corps cellulaire, est faite de protoplasme et non de nucléine. La seule interprétation plausible, c'est que ces corpuscules sont les nucléoles des noyaux que les Bactéries représentent.

Remarquons enfin la propriété que possèdent beaucoup de Schizomycètes de produire autour d'eux une substance gélatineuse, dans laquelle ils vivent et se multiplient (zooglées). C'est ainsi qu'on voit, en maintes circonstances, chez des êtres beaucoup plus élevés, des noyaux se multiplier dans un protoplasme non individualisé. Est-ce une analogie de plus à noter entre ces microrganismes et des noyaux? L'existence de cellulose dans la substance azotée, qui forme la gangue interposée aux éléments bactériens, ne constituerait pas une difficulté sérieuse, attendu que la cellulose paraît exister aussi dans le corps même de certaines bactéries, et n'a pas empêché de les considérer soit comme des cellules, soit comme des noyaux.

Résumons-nous et achevons de caractériser ces petits êtres qui nous ont assez longtemps occupés. Organismes très simples, mais dans un tout autre sens que Hæckel ne l'avait admis, les Schizomycètes sont des corps dont la nature nucléaire paraît incontestable, mais considérablement modifiée. La multitude et la variété de leurs espèces, la variété non

---

(1) *Ueber Kern- und Sporenbildung bei Bakterien* (*Zeitschr. f. Hygiene*, Bd V, 1888).

Digitized by Google

moindre de leurs propriétés et des rôles qu'ils remplissent dans la nature, montrent en eux, non des formes primitives, mais au contraire des êtres fort éloignés de leur origine première et extraordinairement diversifiés. Leur étonnante capacité de résistance indique assez, à elle seule, les effets d'une sélection longtemps poursuivie, et leurs aptitudes multiples ceux d'une adaptation très prononcée en directions diverses.

Et maintenant, que reste-t-il des Monères? Un de leurs groupes, le plus vaste, totalement supprimé; dans les deux autres, des organismes dont les uns sont positivement cellulaires, et dont les autres n'attendent que l'occasion favorable pour le devenir. Les Monères sont une notion erronée à effacer de la science.

Mais s'il n'existe pas de cytodes libres parmi les protorganismes, ne s'en trouverait-il pas dans les êtres plus complexes, animaux et végétaux multicellulaires? On n'en a jamais observé. On n'objectera pas, sans doute, les corpuscules rouges du sang des mammifères et de l'homme qui, à leur état définitif, ne présentent plus de noyau. Ils en possédaient un à l'état jeune, et sa disparition est un effet de la haute spécialisation de ces éléments, et ne saurait être interprétée comme un retour à un état primordial purement imaginaire, car cet état devrait se manifester à l'origine et non au terme de leur évolution. Il en est des hématies comme d'un autre élément non moins spécialisé, la fibre musculaire striée. Des noyaux en nombre considérable président au développement du cylindre fibrillaire, pour disparaître presque complètement dans le cylindre définitivement constitué.

Les Monères évanouies, les Monères que Hæckel proclame « la pierre angulaire » de la théorie de l'évolution, s'ensuit-il que cette théorie soit atteinte? Nullement. Il n'y a de condamné, et cela sans appel, que la conception de l'origine des êtres vivants telle que l'avaient formulée les savants qui ont

Digitized by Google

cru au protoplasme primordial diffus, à son individualisation dans les cytodes. De cette conception si spécieuse, si séduisante, plus rien ne reste. Mais l'idée transformiste survit aux Monères, comme elle existait avant que l'imagination leur eût donné naissance. La question de l'origine des êtres vivants avait été mal posée, elle n'est point supprimée. Il y a lieu plutôt de chercher comment on pourrait légitimement la poser de nouveau, en tenant un compte plus rigoureux des données de l'observation, au lieu de les plier sous la tyrannie d'un système préconçu.

On a observé, en ces derniers temps, dans des cellules végétales aussi bien que dans des cellules animales, des faits d'une très grande importance pour la connaissance des rapports réciproques du protoplasme et du noyau, et par conséquent pour la vie cellulaire.

Klebs (1) expérimentant sur des cellules de *Spirogyra*, de *Zygnema*, d'*Œdogonium*, a vu que des fragments de cellules encore vivants, mais dépourvus de noyaux, sont incapables de s'accroître et de former une enveloppe de cellulose, tandis que des fragments ayant conservé le noyau, ou seulement des fragments de celui-ci, grandissent et s'entourent de cellulose.

Haberlandt (2) a fait des observations analogues sur diverses cellules végétales.

Des faits tout semblables ont été constatés chez des animaux, par Gruber, Nussbaum, Korschelt. Enfin Balbiani (3) les a observés de nouveau sur des infusoires de grande taille *(Cyrtostomum leucas, Trachelius ovum, Prorodon niveus)*. Des fragments d'un de ces infusoires sectionné se comportent d'une manière tout à fait différente, suivant que ces fragments contien-

---

(1) *Ueber den Einfluss des Kernes in der Zelle* (*Biolog. Centralblatt*, t. VII, 1887).

(2) *Ueber die Beziehungen zwischen Function und Lage des Zellkerns bei den Pflanzen*. 1887.

(3) *Recherches expérimentales sur la mérotomie des Infusoires ciliés* (*Recueil zoologique suisse*, t. V, 1889).

Digitized by Google

nent ou non le noyau. Les fragments ayant conservé le noyau ont régénéré les parties absentes au bout d'un petit nombre d'heures, et ne se distinguent bientôt plus d'infusoires normaux. Il suffit même qu'un fragment de noyau existe pour que la rédintégration se produise. Au contraire, les portions restées sans noyau, après avoir vainement essayé, on le dirait, de régénérer les parties absentes, finissent toujours par mourir. On les voit se concentrer, se ramasser en boules; longtemps leurs cils continuent à se mouvoir, leur vésicule contractile à exécuter ses mouvements de systole et de diastole; la digestion commencée se poursuit, semble-t-il, et s'achève, et l'on voit la défécation se produire. Ces fonctions peuvent persister jusqu'à deux ou trois jours, au bout desquels ces tronçons succombent et se dissolvent.

Résultats pleins d'enseignement, et les plus importants, assurément, que l'on ait acquis jusqu'à ce jour sur la vie intime de la cellule. La « base physique de la vie », pour retenir cette vie, a besoin de la présence du noyau; elle lui échappe, si le noyau est absent. Ce n'est donc pas dans le protoplasme qu'en réside le principe, c'est dans le noyau. La conséquence est inéluctable.

Si, privé de noyau, le protoplasme ne peut vivre, peut-on admettre que ce protoplasme ait été la première substance ayant joui de la vie dans la nature? Peut-on admettre que ce protoplasme, à supposer qu'on parvînt à le réaliser dans sa composition et sa structure, pourrait manifester des propriétés vitales? C'est donc en vain qu'on chercherait à fabriquer artificiellement du protoplasme; on ne pourrait espérer le voir vivre un instant, puisque, pour vivre, un noyau lui est indispensable. Motif nouveau et péremptoire à ajouter à ceux que nous avons donnés plus haut, pour ne reconnaître aucune valeur biologique à des expériences de la nature de celles de Quincke, Bütschli, et autres savants.

Le noyau se révèle donc comme étant, dans la cellule, l'élément primaire, dominateur par excellence; le protoplasme

Digitized by Google

lui est subordonné. Bien des inconnues, sans aucun doute, restent encore à dégager; on est cependant fixé, jusqu'à un certain point, sur les rôles respectifs du noyau et du corps cellulaire. Au noyau appartient essentiellement le pouvoir de reproduction de l'élément; il est véritablement pour la cellule un organe de génération, et il est aisé aujourd'hui de ramener la génération, chez tous les êtres vivants, à une division cellulaire, et partant nucléaire. Le noyau préside en outre aux phénomènes de nutrition de la cellule, à l'intégrité de ses fonctions, puisqu'elle meurt sans lui. Au corps cellulaire, au protoplasme, appartiennent toutes les propriétés fonctionnelles, physiologiques, en un mot les propriétés dites *de tissu,* qui existent en germe dans toute cellule non spécialisée, et que l'on voit s'isoler pour ainsi dire une à une, pour se développer, à l'exclusion des autres, dans les diverses espèces d'éléments de l'organisme. Dans le protoplasme résident la sensibilité, la contractilité, qui, vagues et diffuses dans le Rhizopode, se développent dans la série zoologique, et atteignent leur plus haute expression dans la cellule nerveuse sensitive et dans la fibre musculaire striée. C'est le protoplasme, qui subvient aux sécrétions, dans la cellule glandulaire. Et quand il s'agit d'organes de protection ou de soutien, si fréquents et si variés dans les différents organismes, c'est encore au protoplasme qu'est dû en définitive ce résultat mécanique, car c'est lui qui se revêt de cellulose dans la cellule végétale; lui qui, par une sorte de sécrétion extérieure, produit la substance conjonctive molle, devenant plus tard fibrillaire, la substance élastique du cartilage, la substance calcaire, pour ainsi dire pierreuse de l'os. Il n'est pas d'élément figuré de l'organisme qui ne soit ou du protoplasme transformé ou un produit du protoplasme. Et tous ces éléments ne vivent et ne conservent leurs propriétés que par l'influence encore obscure, mais cependant réelle, incontestable, du noyau cellulaire.

Les exemples de survie et de rédintégration de fragments pourvus de noyaux, provenant d'infusoires sectionnés, n'ont

Digitized by Google

été donnés, il est vrai, que par des cellules isolées. Les expériences faites sur les *Spirogyra, Œdogonium*, etc., ont porté sur des cellules prises dans des végétaux multicellulaires. Il serait intéressant de vérifier s'il en serait de même pour des éléments anatomiques plus spécialisés encore, tels que ceux des animaux supérieurs. Il y aurait lieu de rechercher si, dans une fibre-cellule musculaire, par exemple, la destruction du noyau entraîne la désorganisation et la mort de la substance contractile. Cela paraît très probable, mais à prouver. On ne sait guère, à ma connaissance du moins, que ce qu'ont appris les expériences de Waller sur la régression et la disparition des tubes nerveux séparés de leurs *centres trophiques*, c'est-à-dire des cellules nerveuses dont ces tubes sont les prolongements. Ces résultats, qu'il y aurait intérêt à rechercher en d'autres éléments, trouvent leur explication naturelle, quand on les rapproche des faits de mérotomie plus haut mentionnés.

Tout n'est pas dit encore avec ce qui précède, sur le rôle du noyau vis-à-vis du protoplasme. Les données de l'histogenèse montrent encore que le développement, ou, pour être plus précis, l'accroissement de ce dernier s'opère sous l'influence du noyau. Les naturalistes ne se sont pas encore entièrement affranchis du préjugé introduit dans la science par Hugo von Mohl, que le noyau se forme dans la cellule à l'aide et aux dépens du protoplasme préformé. Pas une observation cependant n'a établi sur des faits positifs ce mode de formation du noyau. Toute cellule, naissant par division d'une autre cellule, se trouve, dès sa naissance, déjà pourvue d'un noyau. On sait aussi depuis longtemps que, dans toute cellule, le volume du noyau, relativement au protoplasme, est d'autant plus considérable que la cellule est plus jeune. La masse du protoplasme peut ultérieurement devenir énorme eu égard à la masse du noyau. C'est le cas surtout des œufs, chez la plupart des espèces animales. Mais si l'on observe ces mêmes œufs au moment de leur naissance, lors de la prolifé-

Digitized by Google

ration des cellules-mères d'où ils dérivent, on voit les jeunes ovules constitués par un noyau volumineux entouré d'une mince couche de protoplasme. Dans ces amas parfois considérables d'ovules naissants ou récemment nés, accumulés au fond d'un cul-de-sac ovarien, il semble souvent que le départ ne soit point fait, de ce qui revient à chaque noyau, dans ce protoplasme ténu, hyalin, sorte de gangue homogène interposée aux noyaux. Il en est ainsi dans tous les cas d'éléments en voie de multiplication très active, où les bipartitions se succèdent avec une grande rapidité. De tels exemples sont présents à l'esprit de tout observateur, et il n'est pas besoin d'insister.

Si réduite cependant que soit la quantité de protoplasme autour d'un jeune noyau, on ne la voit jamais nulle. Il n'a pas été produit un exemple de noyau sans trace de protoplasme autour de lui. En sorte que, s'il est absolument hors de doute que le noyau ne provient point du protoplasme, si l'on peut affirmer d'autre part que le protoplasme ne vit et grandit que sous l'influence du noyau, on n'est pas pour le moment autorisé par les faits à renverser les termes de l'ancien dogme histologique, et à dire qu'un noyau préexistant s'est fait une enveloppe de protoplasme. Mais si un tel phénomène ne se produit pas naturellement aujourd'hui, parce que tout noyau, au moment de sa naissance, hérite d'une partie du protoplasme appartenant au noyau générateur, on ne peut cependant légitimement conclure que le fait en lui-même soit impossible. Les expériences de rédintégration de cellules fragmentées, grâce à l'influence du noyau conservé, sont de nature à autoriser l'espérance de voir, bientôt peut-être, réaliser expérimentalement le fait d'un noyau, dépouillé de protoplasme, se créant une nouvelle enveloppe de cette substance, un noyau se refaisant de toutes pièces un nouveau corps cellulaire. Il serait alors bien difficile de se refuser à admettre cette proposition : que c'est par la formation de noyaux ou de corps analogues aux noyaux cellulaires actuels que dut se

Digitized by Google

faire la première apparition de la vie. Nous pouvons cependant d'ores et déjà retenir cette donnée comme une hypothèse très légitime.

Mais c'est chose extrêmement variable qu'un noyau, et l'expression désigne des corps fort différents les uns des autres. Dans la série végétale, comme dans la série animale, les noyaux sont, non moins que les cellules auxquelles ils appartiennent, des organes très inégalement compliqués. Ce n'est point évidemment un noyau limité par une membrane, renfermant réseau et suc nucléaires, avec un nucléole, que l'on serait tenté de prendre pour une formation primitive. Mais il est des noyaux beaucoup plus simples. On trouve, chez divers Protozoaires et Protophytes, et particulièrement chez les Amibes, des noyaux aussi élémentaires qu'on les puisse concevoir, de simples sphérules de matière nucléaire, sans membrane d'enveloppe distincte, sans nucléole. C'est là précisément l'état sous lequel se présentent souvent les noyaux dans ces éléments en prolifération très active, au sein d'un protoplasme indivis, où les noyaux, à peine nés d'une division, commencent déjà à se diviser encore, et se multiplient par véritable pédogénèse.

Ainsi se présente à nous, dans la nature actuelle, l'élément organique le plus simple. Tel dut être, à l'origine, le premier corps organisé sorti du monde inorganique; telles furent les premières ébauches de la vie, des sphérules de nucléine formées par synthèse dans le milieu inorganique. S'il est permis d'employer ici une expression déjà bien vieille, et qu'on a souvent fort mal appliquée, ce fut là le véritable *cristal organique*, le BIOCRISTAL, dirons-nous, bien moins différent peut-être des cristaux des substances minérales qu'on n'a l'habitude de le croire. Mais n'insistons pas sur des analogies qu'il est permis de concevoir, mais que nous n'avons encore aucun moyen de vérifier. Qu'il nous suffise d'avoir démontré que si des recherches sur le mode d'apparition de la vie et la production artificielle de la matière vivante doivent un jour aboutir à un

Digitized by Google

résultat positif, ce ne peut être par la réalisation de la substance protoplasmique, mais par la formation d'un corps analogue au noyau cellulaire.

Les faits nous ont conduits à reconnaître que le problème de l'origine de la vie, tant de fois agité, avait été une fois de plus, malgré des apparences spécieuses, envisagé sous un point de vue erroné. La question était mal posée. Comprise autrement et d'une manière plus conforme aux données de l'observation, peut-on dire qu'elle ait été simplifiée? Il serait imprudent de le prétendre. Tout au plus aurait-on le droit d'affirmer que c'est, en un sens, s'être rapproché de la vérité, que d'avoir reconnu une erreur. Toutefois, nos connaissances relatives au noyau cellulaire, à sa constitution, à sa structure intime, aux forces qui résident en lui, sont encore si imparfaites, qu'il ne semble pas même possible de concevoir comment le problème, nouvellement posé, de l'origine de la vie pourrait être utilement abordé par l'expérimentation.

Il ne sera peut-être pas inutile, pour terminer, de résumer en quelques propositions les pages qui précèdent.

L'hypothèse de la génération spontanée est la seule explication scientifique de l'apparition des premiers êtres vivants. Elle est le complément naturel de la théorie de l'évolution.

Les premiers êtres vivants ne purent être que fort simples.

Il est donc naturel de chercher, parmi les organismes les plus simples de la nature actuelle, le type des premiers êtres vivants.

Ce principe, mal appliqué, a conduit à voir dans le protoplasme la matière vivante fondamentale, et dans des êtres purement protoplasmiques l'image des premiers êtres vivants.

La notion des Monères, celle du protoplasme indépendant, nées d'idées théoriques et non fondées sur des faits positifs, sont erronées.

Il n'existe ni cytodes, ni protoplasme libre, sans noyau.

Digitized by Google

L'expérience a de plus démontré que le protoplasme cellulaire, privé de son noyau, ne tarde pas à mourir.

D'où suit l'inutilité des recherches ayant pour but la réalisation artificielle du protoplasme. Leur objet serait-il atteint, que le protoplasme produit serait incapable de vivre.

Le protoplasme, dans la cellule, est subordonné au noyau, sous l'influence duquel il vit, se nourrit, s'accroît et se multiplie.

Le protoplasme n'est donc point primitif et le noyau secondaire.

Il est infiniment probable que le noyau est primitif et que, secondairement, il a produit le protoplasme.

C'est le noyau cellulaire, tel qu'on le voit dans les cellules où il est le plus simple, et non le protoplasme, qu'il faudrait essayer de reproduire.

L'état actuel de la science ne permet pas d'entrevoir comment l'expérimentation pourrait aborder utilement ce problème.

---

Digitized by Google

Digitized by Google

# LES

# GRANDS HIVERS DU PAYS BORDELAIS

PAR M. G. RAYET,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES, CORRESPONDANT DE L'INSTITUT.

---

Les données sur les dates et les phénomènes des hivers rigoureux de la province de Guyenne et du pays bordelais sont assez peu nombreuses et, au moins pour la période antérieure à 1720, ils ne nous sont guère connus que par quelques récits dont l'exagération est souvent évidente. Je réunirai cependant ici les renseignements que j'ai pu retrouver relativement à ces grands froids et à leur action sur l'état de la Garonne aux environs de Bordeaux ou sur les végétaux.

*Hiver 582.* — Les loups entrent dans Bordeaux et dévorent les chiens [1].

*Hiver 1405.* — L'an 1405, la Garonne fut glacée avec perte de plusieurs vaisseaux [2].

*Hiver 1572-1573.* — La rivière fut aussi glacée et l'eau de la marée, qui n'avait pu rompre les glaces, passa par-dessus et fit périr beaucoup de monde qui s'était hasardé à passer la rivière sur la glace [3].

« En cette année (1572), le froid fut si rigide sur la fin de décembre que la rivière glaça devant Bourdeaux d'une telle façon, qu'il était impossible que les basteaux puissent passer d'un bord à l'aultre; et si quelcun voulait passer de la Bastide

---

[1] Grégoire de Tours.

[2] Abbé Bellet, *Observations sur la gelée de 1729,* lues à l'Académie de Bordeaux le 28 novembre 1729. (Manuscrits de l'Académie de Bordeaux, t. CXVII; Bibliothèque municipale.)

[3] Abbé Bellet, mémoire déjà cité.

Digitized by Google

en la ville, il fallait faire rumpre la glace à coups de hache. Mais ce qui est notable et consiste que la marée venant sur la glace, plusieurs bateliers estants trompés et voulant passer leurs bateaux, touchant la glace cachée et couverte d'eau, pour ne trouver pas après de fonds, firent naufrage; à cause de ce, quelques personnes s'y trouvèrent noyées et perdues. Les gueux faisoyent cuire leurs herbes sur le verglas (1). »

*Hiver 1589-1590.* — Grand froid. La rivière demeure glacée depuis le 27 décembre jusqu'au 8 janvier 1590 (2).

*Hiver 1602-1603.* — En 1603, aux mois de janvier et de février, la Garonne fut glacée, et plusieurs vaisseaux, qui n'avaient pas pris assez de précautions, furent enfoncés (3).

*Hiver 1607-1608.* — « En 1608, qui fut l'année du grand hiver, ainsi qu'on l'appela, il commença à glacer le jour de Saint-Thomas au mois de décembre précédent (21 décembre 1607). Le froid dura avec une extrême rigueur deux mois sans relâche. Les vignes et les autres plantes en moururent, et beaucoup de bêtes, surtout de gibier, ne purent résister. On remarqua que la chaleur de l'été suivant fut aussi forte que la rigueur du froid (4). »

*Hiver 1616.* — En 1616, le froid fut extrême. La Garonne fut glacée jusqu'à porter charrettes, surtout devant la ville de Saint-Macaire, comme elles avaient passé l'an 1572 dont nous avons parlé (5).

*Hiver 1623-1624.* — « En cette année-là (1623), il y eut, sur la fin de novembre, un si grand froid à Bourdeaux, que la mer gela, et dit-on que ce froid fut encore plus rigoureus que celui qu'on souffrit en l'année 1572, mais principalement vers

(1) *Chronique bordeloise de J. de Gaufreteau,* t. I, p. 166.
(2) *Chronique d'E. du Cruseau,* t. I, p. 24.
(3) Abbé Bellet, mémoire déjà cité.
(4) Abbé Bellet, mémoire déjà cité.
(5) Abbé Bellet, mémoire déjà cité.

Digitized by Google

Sainct-Macaire et la ville de La Réole, car il est certain que plusieurs bons compagnons allumèrent du feu et disnèrent sur la glace de la rivière [1]. »

D'après les *Registres de la Jurade,* le froid fut très grand en janvier, février et mars 1624; les Jurats firent allumer des feux dans les rues pour chauffer les pauvres [2].

*Hiver 1676-1677.* — En janvier 1677, le froid fut si extraordinairement grand que la rivière glaça [3].

*Hiver 1694.* — La Garonne fut chargée de pièces de glaces; plus de la moitié des pieds de vigne furent gelés [4].

*Hiver 1696-1697.* — La Garonne fut chargée de glaces. La forte gelée et sa durée causèrent aux végétaux les mêmes accidents qu'en 1694. Les gelées du printemps continuèrent par intervalles jusque dans le mois de mai. Il gela encore le 16 mai 1697, jour de la Saint-Fort [5].

*Hiver 1708-1709.* — L'hiver de 1709 fut cruel entre tous pour le pays bordelais, et les détails abondent sur l'intensité et la persistance du froid.

« Le froid de 1709 fut si excessif, dit Sarrau de Boynet dans son mémoire sur les grands hivers de la Guyenne, que de mémoire d'homme on n'en avait pas éprouvé de semblable. Il dura dans sa force depuis le 1er janvier jusqu'au 23 du même mois; il se fit sentir subitement par un vent de N. impétueux... La Garonne fut entièrement chargée de masses énormes de glaces entassées les unes sur les autres, surtout à la pleine mer, où elles ne laissaient qu'un canal étroit et interrompu au milieu de la rivière... Les plus vieux et les plus gros arbres se

(1) *Chronique bordeloise de J. de Gaufreteau,* t. II, p. 124.
(2) *Inventaire sommaire des Archives municipales,* année 1624.
(3) *Registres de la Jurade,* année 1677. — *Archives municipales.*
(4) Sarrau de Boynet, *Extrait des observations faites dans les grands hivers de la province de Guyenne,* lu à l'Académie de Bordeaux le 26 mars 1767 (Manuscrits de l'Académie de Bordeaux, t. CXVI).
(5) Sarrau de Boynet, mémoire déjà cité.



Digitized by Google

fendaient en éclatant avec un bruit d'artillerie... Les vignes et presque tous les végétaux périrent. »

« Le froid commença la nuit du 6 janvier et sa durée fut de quinze jours; mais les huit premiers jours il fut si violent que la rivière était couverte de glaçons et de si grandes pièces de glaces qu'on fut obligé de mettre les vaisseaux près de terre pour les garantir. On passait la Garonne à pied sec devant Cadillac et Podensac. Toutes les vignes furent gelées (1). »

Dans le *Livre de Raison* de M. de Savignac, M. Leo Drouyn (2) a encore relevé sur les froids de 1709 les notes suivantes, particulièrement intéressantes quoique bien évidemment empreintes d'exagération :

6 janvier 1709. — « Le froid a commencé ce jour d'hui.... Dans la nuit du 8 au 9 il neigea prodigieusement et le froid descendit à 14 degrés (—12°,7 centigrades) (3). Dans celle du 9 au 10 il neigea le double et le froid était à 12 degrés (—14°,1); l'eau bouillante se gelait au bout d'un demi-quart d'heure, et la froide se gelait en tombant de la cruche dans le verre. »

11 janvier 1709. — « J'avais dans le lit le nez gelé, et quand je me suis levé, j'ai trouvé le thermomètre entièrement concentré dans la boule de verre, en sorte que la liqueur ne marquait point de degré de froid, tant il estait violent, et mesme le vin se gelait dans les bouteilles, en sorte que j'ay aujourd'huy avalé des petits glaçons dans le vin pur, et, sur la rivière, il est impossible de traverser à La Bastide à cause des glaçons de la grandeur d'une maison qui descendent conti-

(1) *Registres de la Jurade. — Archives municipales.*

(2) Leo Drouyn. — *Extraits du Livre de Raison de M. de Savignac, conseiller au Parlement. (Compte rendu des séances de l'Académie de Bordeaux,* année 1880, p. 88 et suivantes.)

(3) Le thermomètre dont s'est servi M. de Savignac paraît être un thermomètre de La Hire, marquant 31°,7 à la glace fondante et 48°,0 dans les caves de l'Observatoire de Paris, où la température est de 11°,70. — C'est d'après cette hypothèse que les températures notées à Bordeaux ont été converties en degrés centigrades. — Le thermomètre était probablement à une fenêtre.

Digitized by Google

nuellement du Haut-Pays. » Le froid a du être de 23 ou 24 degrés au-dessous de zéro.

13 janvier 1709. — « Le froid continue si apprement que le thermomètre est du 4e au 5e degré (—19°,5), et de temps en temps il tombe de la neige.... La rivière se gèle et glace entièrement, dans le descendant et le plein mer, de l'un à l'autre bord, et le montant rompt la glace, ce qui cause mille désordres aux bâtiments et fait échouer quantité de vaisseaux qui ont été très endommagés....... L'encre se gèle dans l'escritoire à chaque moment; le vin dans les bouteilles se consolide et se glace entièrement; et les doigts des laquais se prennent aux assiettes un peu mouillées, en sorte qu'il faut qu'ils les approchent du feu pour les en retirer. Les oiseaux à la campagne et le gibier meurt tout et se mange l'un à l'autre. — Le thermomètre est aujourd'hui au 1er ou au 2e degré (— 21°,5). Les Jurats font des feux publics pour les pauvres. »

« Le sang de Nostre-Seigneur se gèle dans le calice et l'on met des réchauds sur les autels pour dire la messe. »

14 janvier 1709. — « Le froid est au 5e degré du thermomètre (— 19°,2)... Les Sœurs grises ont dit que la marmite des pauvres bouillait du côté du feu et se gelait de l'autre, où il y avait des pièces de glace, en sorte qu'elles ne pouvaient plus faire le bouillon. »

15 janvier 1709. — « Le froid était du 4e au 5e degré (— 19°,5), et, l'après-dînée, il y a eu de la neige qui, jointe à celle qui était déjà tombée, est haute de près de trois pieds; il y a eu dégel cette après-dînée, en sorte que le thermomètre est monté au 12e degré (— 14°,1). »

« On traverse la rivière sur la glace vis-à-vis Langon. »

16 janvier 1709. — « Aujourd'hui le froid a esté au 8e degré du thermomètre (— 17°,0). Le vaisseau *le Cantabre* s'est fracassé contre les glaces de la rivière. »

17 janvier 1709. — « Le froid a esté au 5e degré du thermomètre (— 19°,1); toutes les vignes de grave sont gelées par le haut; le vin gèle dans les barriques; les figuiers et les

Digitized by Google

lauriers sont absolument gelés... chaque jour il y a des feux perpétuels dans les rues. »

18 janvier 1709. — « Le froid est au 7e degré du thermomètre (— 17°,8). »

19 janvier 1709. — « Le froid continue avec toute la rigueur possible; il est à 4 degrés du thermomètre (— 19°,5). La rivière est toujours impraticable de plus en plus. »

« Le vin se glace dans les barriques; un marchand m'a assuré qu'il avait trouvé dans son chai de l'eau-de-vie gelée. »

20 janvier 1709. — « Le froid a esté si violent que le thermomètre est entièrement concentré et il s'en faut l'espace de deux degrés qu'il n'attrape le premier (— 23°,8). Toutes les horloges de la ville sont détraquées; le froid a esté si violent qu'il a fait impression sur le ressort des dites horloges dont la plupart sont cassées. Les Jurats, à cause du froid, n'ont pu aller en procession aux Grands-Augustins. »

21 janvier 1709. — « Le froid est au 5e degré (— 19°,2). »

22 janvier 1709. — « Le froid est à 9 degrés du thermomètre (— 16°,3) et ce soir il y a dégel. »

23 janvier 1709. — « Il y a grand dégel des glaces et des neiges et le thermomètre est au 29e degré (— 2°,0); en sorte que le grand froid n'a duré que dix-sept jours, aiant commencé le jour des Rois. »

25 janvier 1709. — « La glace de la rivière commence à se déprendre à Saint-Macaire avec le bruit du monde le plus furieux. Il y a eu plusieurs gros chênes des plus vieux qui se sont fendus par le milieu, avec des bruits épouvantables, tant le froid a été vif... »

A cette première période de grands froids succède une semaine environ de temps plus doux et supportable, puis commence une seconde période de jours rigoureux.

7 février 1709. — « Le froid continue et le thermomètre est au 25e degré (— 4°,8); on craint que le blé ne se gèle entièrement dans les palus. »

8 février 1709. — « Le froid continue au même degré; il a gelé violemment la nuit dernière. »

Digitized by Google

23 février 1709. — « Le thermomètre est aujourd'hui au 27e degré de froidure (— 3°,4); il a gelé et neigé la nuit dernière. »

24 février 1709. — « Le froid augmente, il est au 18e degré (— 9°,8). »

25 février 1709. — « Le froid augmente, il est au 14e degré (— 12°,7); il y a un peu gelé la nuit passée. »

26 février 1709. — « Le froid a un peu diminué; il est à 21 degrés (— 7°,5); le soleil paraît. »

Enfin, dans la *Chronique de la Ville de Bordeaux,* Tillet ajoute que la Dordogne fut également prise dans une grande portion de son cours. « De Fronsac jusqu'à Libourne on y marchait sur la glace à pied, à cheval et avec d'autres voitures. La forêt du Cypressat, très ancienne et dont les arbres étaient d'une grosseur prodigieuse, fut détruite. »

*Hiver de 1717.* — En 1717 la Garonne fut chargée de glaces, mais les végétaux n'éprouvèrent pas de dommages bien sensibles.

A partir de 1720 les renseignements sur les hivers rigoureux deviennent plus abondants et plus précis grâce aux observations de MM. de Sarrau; c'est à leurs registres météorologiques, conservés dans la Bibliothèque municipale de la ville de Bordeaux, que j'emprunterai désormais le plus grand nombre des éléments des notes suivantes.

« Mes observations du Thermomètre et du Baromètre, dit M. Sarrau de Boynet [1], n'ont commencé qu'en 1719. — Les premières ne pouvaient donner qu'une connaissance peu exacte des vrais degrés du chaud et du froid parce que je me servais alors d'un thermomètre renfermé dans une chambre où les changements de température ne sont jamais si prompts ni si forts qu'à l'air du dehors. D'ailleurs les anciens thermo-

(1) Sarrau de Boynet, *Remarques sur la constitution du climat de Bordeaux et observations météorologiques de 1744* (Manuscrits de l'Académie de Bordeaux, t. CXVI).


Digitized by Google

mètres n'étant pas comparables entre eux, on ne pouvait pas juger du rapport de leurs degrés d'un lieu à un autre.

» Les nouveaux thermomètres de l'invention de M. de Réaumur, placés au grand air, du côté du Nord, instruisent, autant qu'il est nécessaire, des véritables degrés de chaleur et de froideur, et peuvent servir à comparer ceux de tous les climats par la connaissance, dont on est assuré, de la parité de leur marche. »

C'est en effet avec un thermomètre dont la nature n'est pas indiquée et qui, d'après une suite de remarques journalières, était placé dans une chambre, que MM. de Sarrau ont observé jusqu'au 21 mars 1734. A cette date on voit apparaître sur les registres les indications d'un thermomètre nouveau qui marque 1000 les jours de gelée, et qui est bien, par suite, le thermomètre que Réaumur avait décrit dans son récent mémoire [1] et l'instrument dont parle M. de Sarrau de Boynet dans sa lecture académique de 1745.

La correspondance entre les degrés du thermomètre à alcool de Réaumur et le thermomètre à mercure qui marque zéro dans la glace fondante, et 80° dans l'eau bouillante, est d'ailleurs connue par les travaux de J.-A. de Luc [2] qui a eu l'occasion de comparer cet instrument avec les thermomètres modernes. Il est donc facile de transformer en degrés centigrades les indications du thermomètre employé par MM. de Sarrau à partir de 1734. En outre, et pendant plusieurs années, les météorologistes bordelais ont observé simultanément le thermomètre de Réaumur et leur ancien thermomètre; cette comparaison montre que les lectures de l'ancien thermomètre sont transformées en degrés centigrades par la formule

$$T = 1°,311 . x - 41°,786,$$

---

[1] Réaumur, *Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient comparables*... (*Histoire de l'Académie royale des Sciences*, année 1740, p. 452.)

[2] De Luc, *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*..., nouvelle édition, Paris, 1784, t. II, p. 280.

Digitized by Google

qui conduit facilement à une table et nous a servi à la réduction des observations antérieures à 1734.

Les observations postérieures faites soit à Bordeaux, soit à Pichon, avec des thermomètres de Réaumur ,ont été réduites à l'aide de la table de correspondance déjà citée de de Luc.

Les observations de MM. de Sarrau sont d'ailleurs faites le matin, au lever de l'observateur, par suite à des heures variables avec la saison, et le thermomètre est resté dans une chambre jusqu'en 1735, ainsi qu'en témoignent de nombreuses notes sur la manœuvre des volets de cette pièce au moment de l'observation. Il serait donc impossible d'en tirer aucune donnée sur la température moyenne diurne; mais elles peuvent cependant conduire à quelques données sur l'intensité et la persistance du froid dans les hivers rigoureux de 1720-1721, 1725-1726, 1728-1729, 1730-1731. C'est à ce titre seulement que j'en reproduis quelques-unes dans les notes suivantes.

*Hiver 1720-1721.* — Après un mois de janvier assez beau, le mois de février fut assez rigoureux. Le froid commence par une chute de neige le 9 février, et le 12 la température est au-dessous de zéro; mais le thermomètre remonte bientôt. A partir du 20, nouvelle série de froid avec vent violent de SE. ou NE.; le 21, la glace est de l'épaisseur d'un doigt; il neige abondamment les 22, 23 et 24. Le ciel s'étant alors éclairci, la température s'abaisse rapidement, et le 27 la glace est assez épaisse pour permettre de remplir les glacières. Le dégel commence le 28.

*Hiver 1725-1726.* — Le mois de janvier 1726 a été assez rigoureux, si l'on en juge par quelques observations thermométriques faites par M. de Sarrau dans une chambre et surtout par l'état de la rivière. Les notes suivantes sont extraites du *Registre météorologique* de MM. de Sarrau.

Janvier 16. — La neige tombée hier n'a point fondu; la glace est épaisse dans les fonds sans courant.

Janvier 17. — Il tombe beaucoup de neige. On remplit aujourd'hui les glacières de la ville.

Digitized by Google

Janvier 20. — La rivière est couverte de glaçons.

Janvier 21. — Beaucoup de glaces sur la rivière, qui n'est pas navigable. Il y a eu hier matin et aujourd'hui de la glace dans mon pot de chambre qui était sous mon lit.

Janvier 22. — La rivière était aujourd'hui chargée de glaçons et n'était pas navigable, si ce n'est (en prenant son temps) pour traverser de Lormont ou de La Bastide; même il y a eu du risque pour ceux qui l'ont entrepris. Le courrier de Paris, qui devait arriver le 16, n'est venu que le 18, et celui qui devait être à Bordeaux le 19 n'est arrivé que le 22.

Janvier 23. — Le dégel commence. Il y a encore bien des glaces sur la rivière, mais plusieurs bateaux sont arrivés à Bordeaux de Monferrand... non sans embarras et risques.

Janvier 24. — Il y a aujourd'hui encore quelques glaçons sur la rivière, mais ce n'est rien.

Janvier 25. — Il y avait encore bien des glaces au Bec-d'Ambès.

La Garonne aurait donc charrié pendant six jours.

*Hiver 1728-1729.* — L'hiver 1728-1729 est remarquable par la persistance du froid et l'abondance inaccoutumée des neiges.

Il gèle une première fois le 24 novembre 1728, par un ciel clair et un vent du N. modéré, et de la glace se montre dans les flaques d'eau. Le temps devient ensuite assez beau jusqu'à la fin de la première semaine de décembre. La neige fait sa première apparition le 10 décembre et tombe avec quelque abondance, mais elle disparaît dans la journée même.

De nouvelles chutes de neige s'observent le 25 décembre, et comme le thermomètre est, cette fois, au-dessous de zéro, elle persiste et s'augmente des chutes des 27 et 28. A la date du 30 décembre 1728, M. de Sarrau écrit dans son *Registre météorologique:* « On a mesuré la neige ce matin dans le jardin de l'Académie; on a trouvé 5 pouces (14 centimètres) au lieu où il y en avait le plus, et 4 pouces (11 centimètres) à celui où il y en avait le moins. »

Digitized by Google

Depuis le 29 décembre, l'eau gelait dans les rues et dans les maisons. « Les bords de la rivière se glaçaient ce matin (31 décembre) à la pleine mer, » écrit notre météorologiste.

Le 1er janvier 1729, l'eau du Timbre (réservoir d'eau en général logé dans l'épaisseur d'un mur) situé sur le premier palier de l'escalier de l'hôtel de Sarrau est gelée comme elle l'a déjà été le 29 et le 31 décembre. — « Il y a de petits glaçons dans l'eau du broc qui est dans ma chambre. »

Vers le 2 ou le 3 janvier, il semble que le dégel va survenir, car la neige fond un peu sur les toits et il tombe quelques gouttes de pluie; mais le vent revient au N. et au NE., la température s'abaisse de nouveau et arrive progressivement à — 4°,0 le 7 janvier, en même temps qu'il neige de nouveau.

C'est ce même 7 janvier 1729 que les glaces font leur apparition sur la Garonne. Peu nombreuses d'abord, elles augmentent rapidement. Le 9.— « Il y a diverses petites pièces de glaces sur la rivière et quantité de glaces au Bec-d'Ambès, venant de la Dordogne. » Le 10. — « Quantité de glaces sur la rivière, qui n'est navigable qu'avec peine; presque tous les vaisseaux ont passé en Queyries. » La quantité des glaçons diminue ensuite rapidement, il n'y en avait presque plus le 12 janvier; mais, le 17, la rivière est de nouveau couverte de glaces et n'est pas navigable.

Le froid persiste rigoureux et continue jusqu'au 24. « La rivière est autant ou plus chargée de glaces que pas un jour précédent, mais une bonne partie de celle qui tenait aux bords s'est détachée. » La navigation reprend le 25 ou le 26. La Garonne avait charrié pendant dix-neuf jours consécutifs.

Le dégel arrive enfin le 24 janvier par un orage assez violent du Sud-Ouest.

Les registres de MM. de Sarrau fournissent les températures observées le matin, au lever de l'observateur, avec un thermomètre placé au voisinage de la fenêtre d'une chambre fermée. Je reproduirai ici le tableau des observations faites du 22 décembre 1728 ou 26 janvier 1729.

Digitized by Google

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1728-1729.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1728. Décembre | 25. | + 5°1 | 1729. Janvier | 5. | — 2°7 | 1729. Janvier | 16. | — 3°3 |
| — | 26. | + 2,9 | — | 6. | — 2,1 | — | 17. | — 4,8 |
| — | 27. | + 2,9 | — | 7. | — 4,0 | — | 18. | — 5,7 |
| — | 28. | + 1,3 | — | 8. | — 2,9 | — | 19. | — 5,0 |
| — | 29. | — 0,2 | — | 9. | — 2,9 | — | 20. | — 4,4 |
| — | 30. | + 0,2 | — | 10. | — 2,3 | — | 21. | — 4,5 |
| — | 31. | — 1,2 | — | 11. | — 1,4 | — | 22. | — 5,2 |
| 1729. Janvier | 1. | — 1,4 | — | 12. | — 1,4 | — | 23. | — 3,4 |
| — | 2. | — 0,2 | — | 13. | — 3,7 | — | 24. | — 0,8 |
| — | 3. | + 0,2 | — | 14. | — 3,5 | — | 25. | + 0,9 |
| — | 4. | — 1,2 | — | 15. | — 2,1 | — | 26. | + 3,4 |

Si l'incertitude où on est sur le mode exact de graduation du thermomètre employé à Bordeaux en 1728-1729 et la mauvaise situation de l'instrument ne permettent d'accorder qu'une confiance très limitée aux degrés de froid observés, les nombres précédents prouvent au moins la continuité du froid du 25 décembre au 25 janvier, pendant un mois entier, et quelques notes extraites des registres de M. de Sarrau permettront de juger du grand abaissement de la température pendant le mois de janvier. C'est ainsi que M. de Sarrau écrit :

12 janvier 1729. — « M. de Caupos fit mesurer hier chez lui, à Bègles, l'effet de la gelée sur la terre et l'eau. On trouva que la glace du fossé avait 4 pouces (11 centimètres) d'épaisseur, que la terre était gelée à la profondeur de 5 pouces (14 centimètres) aux endroits où il n'y avait pas eu de neige, et de 2 pouces (5 centimètres) à ceux où il y en avait eu, et point du tout à ceux où il y en avait encore. » Le 21, au même endroit : « La terre était gelée à 6 pouces (16 centimètres) de profondeur. »

18 janvier. — « J'ai remarqué, à sept heures du matin, étant dans mon lit, les rideaux ouverts, que ce que je mouchais se gelait quasi à l'instant, mon mouchoir étant sous le traversin, tout auprès de ma tête. »

19 janvier. — « A deux heures du soir l'eau versée dans une terrine, sur le palier près de ma chambre, il y a une heure, commence à être glacée; celle dont on rince actuellement une tasse, au même lieu, gèle autour de la tasse. »

Digitized by Google

L'abbé Bellet, dans son mémoire déjà cité sur la gelée de 1729, écrit encore :

« La neige, qui tombait si souvent depuis le 2 janvier 1729, fut fort abondante; le dégel qui venait sur le midi n'empêchait pas de glacer la neige fondue. La nuit durçissait les neiges et les eaux. Les rues de la ville (Cadillac) et les chemins étaient des miroirs de glace, sur lesquels il était fort difficile de marcher et de se garantir de quelque chute. Les chevaux et les bœufs ne pouvaient plus traîner les provisions nécessaires à la vie et à l'usage des hommes. Le commerce des rivières était interrompu par les grandes glaces qui descendaient. La Garonne, qui en l'année 1709 avait été glacée entièrement devant Cadillac, jusqu'à laisser passer les hommes et les bestiaux d'un bord à l'autre, n'avait pas été toute prise cette année. Elle avait un espace au milieu que les courants tenaient ouvert. Il y a encore une autre différence de cette gelée et de celle de 1709, c'est que celle-ci n'a point gelé les arbres comme celle-là: celle-ci étant venue par degrés, celle-là étant arrivée tout d'un coup pour pénétrer les arbres encore tendres et tout verts. »

*Hiver 1730-1731*. — L'hiver 1730-1731 peut être noté comme rigoureux. Le thermomètre de M. de Sarrau indique des températures au-dessous de zéro du 14 au 19 décembre 1730, du 22 au 29 janvier et du 4 au 6 février 1731. La Garonne a charrié, à deux reprises différentes, en décembre et en janvier-février.

15 décembre 1730. — « L'eau de la rivière se gèle au plein mer du matin sur les bords, et en se retirant. »

19 décembre. — « Il y a eu ce matin bien des glaçons au descendant sur la rivière; on a dit qu'à cinq heures du matin il y en avait beaucoup devant Libourne: les ruisseaux et les esteys, ayant été glacés, ont fourni à la rivière. »

26 janvier. — « La rivière charrie des glaçons. »

27 janvier. — « La rivière charrie des glaçons; tous les vaisseaux ont passé en Queyries. »

Digitized by Google

28 janvier. — « Encore plus de glaçons que hier. Très peu de bateaux ont osé naviguer, excepté pour traverser à La Bastide et vis-à-vis Lormont. »

29-31 janvier. — « Beaucoup de glaces sur la rivière. »

2 février. — « Fort peu de glaces sur la rivière ; les vaisseaux ont commencé à revenir. »

5 février. — « Il passe de nouveau quelques glaçons sur la rivière. »

*Hiver 1739-1740.* — L'hiver 1739-1740 a été long et rigoureux dans le nord et dans le centre de la France. Dans la région bordelaise, il est surtout tardif. Les observations faites par MM. de Sarrau à un thermomètre placé à l'extérieur d'une fenêtre, ouverte vers le Nord, montrent en effet que le froid a commencé subitement, avec un coup de vent de Nord, le 24 février 1740, et s'est continué jusqu'au 7 mars sans dépasser des températures qui sont fréquentes à Bordeaux pendant le mois de janvier.

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1739-1740 (9 h. matin).**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1740. Février | 23. | + 0°2 | 1740. Février | 28. | — 7°4 | 1740. Mars | 4. | — 3°6 |
| — | 24. | — 8,0 | — | 29. | — 5,0 | — | 5. | — 5,7 |
| — | 25. | — 9,1 | 1740. Mars | 1. | — 5,0 | — | 6. | — 5,7 |
| — | 26. | — 8,5 | — | 2. | — 1,0 | — | 7. | — 2,4 |
| — | 27. | — 5,7 | — | 3. | — 3,6 | — | 8. | + 6,0 |

Le dégel se produit par une tempête de SE. qui commence le 7 mars.

*Hiver 1741-1742.* — L'hiver offre deux périodes de froid assez vif : la première, du 3 au 10 janvier ; la seconde, du 19 au 27 février 1742.

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1741-1742.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1742. Janvier | 2. | + 7°9 | 1742. Janvier | 8. | — 8°3 | 1742. Février | 22. | — 5°4 |
| — | 3. | — 2,4 | — | 9. | — 6,8 | — | 23. | — 6,3 |
| — | 4. | — 6,3 | — | 10. | + 0,2 | — | 24. | — 5,7 |
| — | 5. | — 8,5 | 1742. Février | 19. | — 0,4 | — | 25. | — 4,3 |
| — | 6. | — 6,3 | — | 20. | — 1,9 | — | 26. | —10,3 |
| — | 7. | — 7,4 | — | 21. | — 5,0 | — | 27. | — 1,0 |

Digitized by Google

Les registres de MM. de Sarrau signalent des neiges abondantes les 8 et 9, 19 et 20 janvier, 19 février et 4 mars.

*Hiver 1747-1748.* — Les froids ont été assez grands en janvier, février et mars. Les observations faites, vers sept heures et demie du matin, par M. de Sarrau à un thermomètre placé au dehors d'une fenêtre située au Nord, donnent pour Bordeaux les résultats suivants :

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1747-1748.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1748. Janvier | 9. | + 9°6 | 1748. Janvier | 20. | — 1°0 | 1748. Mars | 1. | + 4°0 |
| — | 10. | — 2,4 | — | 21. | + 5,3 | — | 2. | — 5,0 |
| — | 11. | — 6,3 | — | 22. | — 1,0 | — | 3. | — 5,0 |
| — | 12. | — 6,8 | — | 23. | — 0,7 | — | 4. | — 1,0 |
| — | 13. | — 7,4 | 1748. Février | 24. | — 0,4 | — | 5. | — 5,0 |
| — | 14. | —12,6 | — | 25. | — 3,3 | — | 6. | + 2,8 |
| — | 15. | — 8,5 | — | 26. | — 6,3 | — | 7. | — 8,5 |
| — | 16. | — 7,4 | — | 27. | — 7,4 | — | 8. | — 9,7 |
| — | 17. | — 2,4 | — | 28. | — 5,0 | — | 9. | — 9,3 |
| — | 18. | — 5,0 | — | 29. | — 3,0 | — | 10. | — 1,0 |
| — | 19. | — 2,4 | | | | — | 11. | + 5,3 |

Il y a donc eu en 1748 trois périodes d'assez grand froid : la première, du 10 au 21 janvier; la seconde, du 24 au 29 février; la troisième, très tardive, du 1er au 10 mars.

La Garonne a charrié assez abondamment du 14 au 22 janvier.

*Hiver 1752-1753.* — L'hiver a été très rigoureux dans le Sud-Ouest de la France; les froids, commencés le 29 décembre, ont persisté jusqu'au 12 janvier; ils ont ensuite repris le 25 pour se prolonger jusqu'au 31 du même mois. La Garonne a charrié deux fois, du 5 au 12 janvier, et du 30 janvier au 2 février. La neige a été très abondante pendant la première semaine de janvier; le 3 elle avait cinq pouces ($0^m.14$) d'épaisseur.

D'après les observations de M. de Sarrau, les températures, vers sept heures du matin, ont eu les valeurs suivantes :

Digitized by Google

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1752-1753.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1752. Décembre | 28. | — 1°0 | 1753. Janvier | 6. | — 6°0 | 1753. Janvier | 25. | — 8°5 |
| — | 29. | — 3,6 | — | 7. | — 5,0 | — | 26. | — 8,5 |
| — | 30. | — 5,0 | — | 8. | — 7,4 | — | 27. | —10,8 |
| — | 31. | — 4,6 | — | 9. | — 8,5 | — | 28. | — 8,0 |
| 1753. Janvier | 1. | — 5,6 | — | 10. | — 6,3 | — | 29. | — 8,5 |
| — | 2. | — 7,4 | — | 11. | + 0,2 | — | 30. | — 7,4 |
| — | 3. | — 5,0 | — | 12. | — 3,6 | — | 31. | — 2,4 |
| — | 4. | — 0,6 | — | 13. | + 1,4 | 1753. Février | 1. | + 0,2 |
| — | 5. | — 5,0 | — | 24. | + 1,5 | — | 2. | + 5,9 |

La première série de froids présente une suite de quatorze jours de gelée consécutifs; dans la seconde, il n'y a eu que sept jours de gelée, mais l'abaissement de température a été considérable.

*Hiver 1753-1754.* — La seconde partie de l'hiver 1753-1754 a été, comme l'hiver précédent, remarquable par la persistance des froids en janvier et février. La Garonne charrie beaucoup de glaces du 2 au 15 février.

Les observations faites le matin par M. de Sarrau donnent :

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1753-1754.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1754. Janvier | 20. | + 0°8 | 1754. Janvier | 29. | — 6°9 | 1754. Février | 7. | — 6°9 |
| — | 21. | — 1,0 | — | 30. | — 7,4 | — | 8. | — 6,3 |
| — | 22. | — 2,4 | — | 31. | — 7,1 | — | 9. | — 9,7 |
| — | 23. | — 1,0 | 1754. Février | 1. | — 9,4 | — | 10. | — 4,3 |
| — | 24. | — 3,6 | — | 2. | —10,8 | — | 11. | + 0,2 |
| — | 25. | — 2,4 | — | 3. | — 3,0 | — | 12. | — 1,0 |
| — | 26. | + 6,6 | — | 4. | — 2,0 | — | 13. | — 2,0 |
| — | 27. | + 0,2 | — | 5. | — 3,6 | — | 14. | + 4,3 |
| — | 28. | — 5,0 | — | 6. | — 3,6 | | | |

Du 28 janvier au 11 février il y a eu quatorze jours de gelée consécutifs.

*Hiver 1757-1758.* — À Bordeaux le froid a été vif du 21 janvier au 7 février 1758. Le froid est venu subitement à la suite d'un coup de vent de NE. La Garonne a charrié avec abondance du 26 janvier au 5 février.

Digitized by Google

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1757-1758.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1758. Janvier | 20. | + 0°2 | 1758. Janvier | 27. | — 1°0 | 1758. Février | 3. | + 0°2 |
| — | 21. | — 8,5 | — | 28. | — 3,0 | — | 4. | — 0,2 |
| — | 22. | —10,8 | — | 29. | — 6,3 | — | 5. | — 1,3 |
| — | 23. | — 7,4 | — | 30. | — 6,0 | — | 6. | — 1,0 |
| — | 24. | — 6,3 | — | 31. | — 5,0 | — | 7. | — 0,2 |
| — | 25. | — 3,0 | Février | 1. | — 5,3 | — | 8. | + 4,1 |
| — | 26. | — 2,1 | — | 2. | — 5,3 | | | |

Cinq jours de froid ont suffi pour former des glaçons dans la rivière.

*Hiver 1765-1766.* — L'hiver 1765-1766 a été pour le pays bordelais d'une longueur et d'une rigueur remarquables. Les froids, commencés le 14 décembre, ont persisté jusqu'au 13 février, pendant deux mois, et la Garonne a charrié des glaçons pendant quarante-un jours consécutifs, du 7 janvier au 16 février.

Les températures relevées, le matin, par M. de Sarrau, à la fenêtre de son hôtel de la rue de Gourgue, sont les suivantes :

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1765-1766.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1765. Décembre | 13. | + 4°1 | 1766. Janvier | 4. | — 8°5 | 1766. Janvier | 26. | — 1°7 |
| — | 14. | — 2,4 | — | 5. | — 8,5 | — | 27. | — 8,0 |
| — | 15. | — 2,4 | — | 6. | — 5,0 | — | 28. | — 2,4 |
| — | 16. | — 1,6 | — | 7. | — 5,0 | — | 29. | + 0,8 |
| — | 17. | — 3,0 | — | 8. | —10,3 | — | 30. | — 4,3 |
| — | 18. | — 5,0 | — | 9. | — 3,0 | — | 31. | — 7,4 |
| — | 19. | — 3,6 | — | 10. | —10,3 | 1766. Février | 1. | — 4,3 |
| — | 20. | — 3,6 | — | 11. | — 9,7 | — | 2. | + 2,8 |
| — | 21. | — 2,1 | — | 12. | —11,4 | — | 3. | + 0,2 |
| — | 22. | + 1,4 | — | 13. | —10,8 | — | 4. | — 1,0 |
| — | 23. | + 0,2 | — | 14. | — 7,4 | — | 5. | — 3,3 |
| — | 24. | — 1,0 | — | 15. | — 3,7 | — | 6. | — 5,0 |
| — | 25. | — 3,6 | — | 16. | — 8,0 | — | 7. | — 9,1 |
| — | 26. | — 5,0 | — | 17. | — 6,8 | — | 8. | — 9,1 |
| — | 27. | + 0,2 | — | 18. | — 4,3 | — | 9. | — 8,0 |
| — | 28. | — 5,0 | — | 19. | — 3,6 | — | 10. | — 2,4 |
| — | 29. | — 4,3 | — | 20. | — 8,0 | — | 11. | — 1,0 |
| — | 30. | — 2,4 | — | 21. | — 5,7 | — | 12. | — 2,4 |
| — | 31. | — 3,0 | — | 22. | — 6,3 | — | 13. | + 4,1 |
| 1766. Janvier | 1. | + 1,4 | — | 23. | — 7,4 | — | 14. | + 4,1 |
| — | 2. | — 3,6 | — | 24. | — 4,0 | — | 15. | + 5,3 |
| — | 3. | — 7,4 | — | 25. | — 6,0 | — | 16. | + 6,6 |

Digitized by Google

Du 2 au 27 janvier 1766 on compte vingt-six jours consécutifs de gelée, et cette continuité de froid donne aux glaçons de la Garonne une épaisseur considérable. Dès le 10 janvier, la glace ne laissait au milieu de la rivière qu'un chenal étroit, et le 17 on pouvait s'avancer sans danger bien avant sur le fleuve. « On a, dit M. de Sarrau, fait fondre le goudron sur la glace pour goudronner les navires. » Du 5 au 9 février, une neige épaisse s'ajoute à la glace, et il ne faut pas moins de cinq jours de pluie et de température douce pour que le fleuve redevienne navigable.

Il faut noter que le 21 décembre, après une semaine de gelée, on avait observé un orage avec tonnerre.

*Hiver 1767-1768.* — Le froid, qui fut très rigoureux dans le nord et le centre de la France, fut aussi vif à Bordeaux, mais il ne dura que du 2 au 7 janvier. Le thermomètre descendit à — 11°,9 le 5 au matin, et la Garonne commençait à charrier le 6. Le dégel est arrivé le 8.

*Hiver 1775-1776.* — L'hiver 1775-1776, qui fut très rigoureux dans le nord de la France et qui a fait l'objet d'un mémoire étendu de Messier (1), a été très doux dans le Bordelais. « Quant à nous, écrit le Dr Guyot à Messier, nous n'avons eu le thermomètre au-dessous du terme de la congélation que les 16, 17, 18, 19 et 25 janvier au matin. Le plus grand degré de condensation a été de — 6°,5, le 19 janvier. »

La Garonne charriait à son embouchure, mais aucun glaçon ne s'est montré devant Bordeaux. Il semble que les froids se soient arrêtés à une ligne passant par Royan et Angoulême (2).

*Hiver 1788-1789.* — L'hiver a été un des plus rigoureux du siècle dernier aussi bien par sa longueur que par l'abaissement excessif de la température pendant les derniers jours de décembre.

(1) Messier, *Mémoire sur le froid extraordinaire que l'on ressentit à Paris, dans les provinces du royaume et dans une partie de l'Europe au commencement de cette année 1776. (Histoire de l'Académie des Sciences pour 1776.)*

(2) Cotte, *Journal de physique*, année 1776.

Digitized by Google

La première gelée (— 1°,9) se produit le 17 novembre au matin. Le temps reste ensuite assez doux jusqu'au 26 du même mois; mais, dans la nuit du 26 au 27 novembre, le thermomètre descend à — 5°,0. Il y a ensuite un retour à un temps tempéré, puis il se produit une nouvelle période pendant laquelle la température s'abaisse à — 4°,4, entre le 6 et le 11 décembre.

La grande période de froid commence à Bordeaux le 18 décembre 1788 et se prolonge jusqu'au 11 janvier 1789. Les observations faites avec soin et dans de bonnes conditions par le Dr Lamothe, dans sa propriété de Pessac et à une fenêtre du premier étage, observations reproduites jour par jour dans le *Journal de Guienne*, donnent pour cette période les résultats suivants :

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1788-1789.**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1788. Décembre 17. | + 2°5 | 1788. Décembre 27. | — 2°5 | 1789. Janvier 6. | — 8°8 |
| — 18. | — 6,9 | — 28. | — 1,3 | — 7. | —11,9 |
| — 19. | — 6,9 | — 29. | —10,0 | — 8. | — 3,8 |
| — 20. | — 5,6 | — 30. | —10,0 | — 9. | — 3,8 |
| — 21. | — 8,8 | — 31. | —15,6 | — 10. | 0,0 |
| — 22. | — 1,9 | 1789. Janvier 1. | — 2,5 | — 11. | — 1,9 |
| — 23. | — 4,8 | — 2. | 0,0 | — 12. | + 2,5 |
| — 24. | — 8,1 | — 3. | — 1,3 | — 13. | + 5,0 |
| — 25. | 0,0 | — 4. | — 5,0 | — 14. | + 8,8 |
| — 26. | + 6,2 | — 5. | —10,6 | | |

Le froid du 31 janvier (— 15°,6) est l'un des plus considérables observés à Bordeaux depuis que les observations thermométriques sont faites dans des conditions acceptables; il est comparable à celui du 13 janvier 1709 et du 16 janvier 1881. Dans cette même matinée, un thermomètre placé dans un jardin, à quatre pieds au-dessus du sol, descendit à — 17°,5.

La rigueur de la température donna lieu à Bordeaux à des accidents nombreux et à des désordres graves sur lesquels Pierre Bernadau [1] nous a conservé des détails intéressants.

(1) P. Bernadau, *Tablettes bordelaises.*

C'est ainsi que, dès le 22 décembre, les Jurats font faire des feux sur les places publiques pour les pauvres, que la saison houspille vigoureusement. Le 29, le bois de chauffage est d'une cherté et d'une rareté si grandes, que la police croit devoir le taxer : « On a mis les bûches à 27 livres le cent, les souches à 36 livres le tonneau, et le cent de faissonnats à 60 livres. » — Le 31 décembre, le peuple commence à couper les aubarèdes de la Chartreuse, et le pillage des arbres, que la police est impuissante à réprimer, continue les jours suivants aux dépens des plantations des Chartreux et de celles des propriétaires voisins.

En même temps, la question des subsistances devenait difficile, et le Parlement et les Jurats durent prendre des mesures énergiques pour approvisionner la Ville, où l'on était menacé de manquer de farine et de viande. « Les armateurs furent avertis de se tenir prêts à donner les *minots* de leurs cargaisons et le Procureur général fut dans les environs de Bordeaux faire casser la glace des moulins et voiturer en ville la farine. « Les charcutiers et les bouchers reçurent l'ordre d'aller acheter du bétail afin de garnir le marché de comestibles et surtout de bœuf dont on manquait depuis quelques jours (5 janvier 1789). »

La Garonne commença à charrier le 22 décembre et le même jour, devant Bordeaux, des glaçons se formaient dans les points abrités du courant. Le 11 janvier, Bernadau écrit dans son journal : « La glace est d'une force étonnante sur la rivière. Devant Bordeaux, on a patiné plusieurs jours, vu son épaisseur et son étendue qui ne laisse à découvert que le milieu des eaux où le courant est violent ; à trois lieues d'ici elle est parfaitement prise et l'on traverse la Garonne à pied sec. M. le Président G... a fait un beau matin une omelette sur la glace au milieu de la rivière devant Rions, et l'a mangée en compagnie de douze personnes. » Et plus loin : « La Garonne était prise aux deux tiers devant Bordeaux et totalement au-dessus de Rions ; le courrier a passé pendant

Digitized by Google

plusieurs jours, avec chevaux et brouette, sur la glace devant Langon. Il y avait d'ailleurs deux pieds de neige sur la terre. » On lit, en outre, dans le *Journal de Guienne,* qu'à Paillet et à Podensac la glace avait huit pouces et demi d'épaisseur et que des charrettes chargées de farine ont pu traverser la rivière.

La débâcle se produisit enfin le 13 janvier; la Garonne charriait depuis vingt-trois jours. « Les glaces qui étaient sur la rivière se sont fondues et détachées si lentement que les vaisseaux en rade n'ont presque pas été maltraités par la débâcle. Le 2 février la glace qui était encore au port de Cérons avait cinq à six pouces d'épaisseur. »

Les végétaux souffrirent énormément; les journaux racontent que nombre de gros arbres se fendirent dans leur longueur avec grand bruit; presque toutes les vignes furent détruites; les céréales, protégées par la neige, furent assez généralement épargnées.

*Hiver 1794-1795.* — L'hiver, très rigoureux et très long dans le nord de l'Europe, paraît avoir été assez intense dans le Bordelais, mais les renseignements météorologiques que j'ai pu rassembler sont néanmoins peu nombreux et peu précis. Les souffrances dont il a été cause ne sont peut-être pas uniquement le résultat de l'abaissement de la température.

Dès la fin de décembre, la glace formée dans les marais du Nord de Bordeaux peut déjà porter des hommes, et le froid augmente pendant tout le mois de janvier. Le 12 janvier la Garonne commence à charrier des glaçons énormes dont le passage dans la rade entraîne quelques navires qui vont s'échouer sur les bancs de Queyries. Le 26 janvier le thermomètre descend à — 13°,1 et le vin se gèle sur les tables. Deux jours après le dégel se produit.

En amont de Bordeaux la rivière a été glacée du 17 au 26 janvier et on l'a traversée sur la glace dans les environs de Rions et de Cadillac.

A Bordeaux la disette de combustible a été grande; d'après

Digitized by Google

Bernadau, le cent de faissonnats a été payé de trois cents à quatre cents francs, et la population a dévasté les échalas des vignes voisines et abattu une partie des arbres du Jardin public et des autres promenades.

*Hiver 1798-1799.* — L'hiver a été peu rigoureux, mais extrêmement humide. Le froid, qui commence vers le 15 décembre, dure jusqu'au 18 janvier.

*Hiver 1803-1804.* — D'après les observations du Dr J.-G. Rey (1), la fin de janvier et la première quinzaine de février ont été très froides. Le thermomètre reste constamment au-dessous de zéro du 28 janvier au 14 février, et le 11 février au matin il descend à — 9°,6.

*Hiver 1812-1813.* — Le froid est assez rigoureux du 21 au 27 décembre, mais la Garonne ne charrie pas.

*Hiver 1819-1820.* — L'hiver, qui fut rigoureux dans le nord de la France, a été très court dans le sud-ouest. A Bordeaux il ne dure réellement qu'une semaine, du 9 au 16 janvier. Les observations de M. Marchandon donnent pour cette période les minima suivants (2) :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1819-1820.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1820. Janvier | 8. | + 4°1 | 1820. Janvier | 12. | — 7°5 | 1820. Janvier | 16. | — 0°6 |
| — | 9. | — 2,9 | — | 13. | — 8,8 | — | 17. | + 3,1 |
| — | 10. | — 6,6 | — | 14. | — 5,6 | | | |
| — | 11. | — 6,2 | — | 15. | — 5,3 | | | |

Du 11 au 15 janvier la Garonne charrie de gros glaçons et la navigation est interrompue.

*Hiver 1829-1830.* — L'hiver 1829-1830 présente de nombreuses analogies avec l'hiver 1788-1789; comme ce dernier, il commence dès les premiers jours de décembre et

(1) J.-G. Rey, *Bulletin polymathique du Muséum d'instruction publique de Bordeaux*, tome II.

(2) Marchandon, *Actes de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Bordeaux* pour 1830.

Digitized by Google

se prolonge jusque vers le 10 février. Les variations thermométriques qui l'ont accompagné nous sont d'ailleurs bien connues, grâce aux observations faites chaque matin vers le lever du soleil par le conducteur des ponts et chaussées Marchandon, et au mémoire de l'ingénieur des ponts et chaussées Billaudel [1].

La première gelée se produit le 7 décembre 1829 et les minima du matin restent au-dessous de zéro jusqu'au 12. A cette première période de six jours de froid modéré succède un dégel de trois jours, puis commence la période rigoureuse qui se prolonge, sans interruption, jusqu'au 17 janvier et pour laquelle les observations de M. Marchandon donnent les résultats suivants :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1829-1830.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1829. Décembre | 15. | + 0°6 | 1829. Décembre | 27. | —13°1 | 1830. Janvier | 8. | — 3°8 |
| — | 16. | — 1,9 | — | 28. | —13,1 | — | 9. | — 3,8 |
| — | 17. | — 3,1 | — | 29. | — 9,4 | — | 10. | + 0,6 |
| — | 18. | — 2,5 | — | 30. | — 9,4 | — | 11. | — 1,9 |
| — | 19. | + 0,6 | — | 31. | — 5,3 | — | 12. | — 0,6 |
| — | 20. | — 1,9 | 1830. Janvier | 1. | —11,3 | — | 13. | — 3,4 |
| — | 21. | — 3,1 | — | 2. | — 6,8 | — | 14. | — 6,6 |
| — | 22. | — 3,1 | — | 3. | — 7,7 | — | 15. | —10,7 |
| — | 23. | + 0,5 | — | 4. | — 5,9 | — | 16. | —10,5 |
| — | 24. | — 3,1 | — | 5. | — 5,0 | — | 17. | — 4,2 |
| — | 25. | — 4,4 | — | 6. | — 6,2 | — | 18. | + 0,6 |
| — | 26. | — 6,6 | — | 7. | — 9,4 | | | |

Cette longue période de trente-trois jours de froid, pendant laquelle le thermomètre est descendu à — 13°,1, est suivie d'une douzaine de jours relativement chauds, auxquels succède une nouvelle série de jours rigoureux. Les minima de température sont de nouveau au-dessous de zéro du 29 janvier au 7 février.

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1829-1830.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1830. Janvier | 28. | + 2°8 | 1830. Février | 1. | — 8°1 | 1830. Février | 5. | —10,0 |
| — | 29. | — 1,9 | — | 2. | — 8,8 | — | 6. | — 3,8 |
| — | 30. | — 3,8 | — | 3. | — 6,2 | — | 7. | — 2,3 |
| — | 31. | — 0,5 | — | 4. | —10,6 | — | 8. | + 8,8 |

[1] Le mémoire de Billaudel est résumé dans les *Actes de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Bordeaux* pour 1830.

A partir du 7 février, il n'y a plus de froid bien sensible et l'hiver peut être considéré comme terminé.

La grande période de temps rigoureux de décembre-janvier a, par sa continuité et sa longueur, plus encore que par l'abaissement de la température qui n'a guère été anormale que le 27 et le 28 décembre, produit sur l'état de la rivière des effets considérables que l'on peut suivre en détail dans les journaux de l'époque et dont le souvenir est encore bien vivant chez les personnes âgées. Le 25 décembre les premières glaces font leur apparition sur la Garonne et, le 28, elles sont assez nombreuses pour faire suspendre, comme dangereux, le service des bateaux du haut de la rivière; le 29, les bâtiments du port doivent être amenés le long de terre, et la Garonne, dont les eaux touchant les bords sont déjà glacées jusqu'à une grande distance du rivage, menace de se prendre en entier. Le 31, le *Mémorial Bordelais* imprime : « Depuis trois jours, notre rivière et ses rives offrent l'aspect de la Néva; des masses de glaces, couvertes de neige et flottantes, couvrent presque en entier le cours de la Garonne et, soumises au double mouvement de la marée, elles s'entrechoquent avec violence en faisant entendre au loin un bruit sourd prolongé. Les navires ont été amenés sur les deux rives; on patine sur le fleuve. » Le même jour, Edmond Géraud écrit dans ses Mémoires [1]: « La rade offre toujours un spectacle déplorable, mais tellement extraordinaire qu'il est inoubliable. Une forêt de mâts et de navires couvre les deux rives et les dérobe presque entièrement aux regards. La rivière est prise à 100 pas du bord; les matelots se rendent à leurs bâtiments à travers les glaçons amoncelés; au milieu, le flux et le reflux promènent sans cesse d'immenses bancs de glace qui viennent se briser avec fracas contre les piles du pont. Le pont est continuellement couvert de spectateurs qu'attirent, malgré l'excessive rigueur du froid, la nouveauté du coup

(1) Mémoires inédits de Edmond Géraud communiqués par Mme Jardel-Géraud.

Digitized by Google

d'œil et la guerre qu'on livre du haut des parapets aux oies et aux canards sauvages; cet hiver est horrible. Il a pourtant fallu faire les visites du premier jour de l'an par une température de 10 à 12 degrés au-dessous de zéro. »

Le 4 janvier, la Garonne était complètement prise à une lieue au-dessous de Langon et on la passait, non seulement à pied, mais encore à cheval.

La quantité de glace augmente d'ailleurs de jour en jour et les blocs, qui atteignent parfois jusqu'à six et huit pieds d'épaisseur, causent en rade de nombreuses avaries; les amarres des vaisseaux se rompent, et ceux-ci, entraînés à la dérive, se brisent contre le pont ou s'échouent sur le banc de Queyries. Le 6 janvier, on décharge l'un d'eux en transportant les marchandises par un chemin tracé sur la glace, et la nuit, les matelots s'éclairent avec des feux allumés sur le fleuve.

Le 14 janvier, on commence dans les églises des prières publiques pour la cessation du froid, mais, dit Bernadau, les prêtres se gardent bien de faire leurs processions en dehors des églises, comme c'est l'usage en pareil cas.

Le 16 janvier, un énorme bloc de glace ayant fermé les quatre arches du milieu du pont, qui donnaient encore passage à l'eau, la rivière s'est trouvée complètement prise en cet endroit pendant quelques heures (1).

Le 18 janvier, Edmond Géraud écrit dans ses notes : « Ce cruel hiver continue à nous poursuivre de rigueurs *à nulle autre pareilles*. Le thermomètre est descendu ici à 13°,8 et 15° au-dessous de zéro. Hier, je suis allé me promener sur la rivière et j'ai marché à travers les glaces amoncelées jusqu'à la septième arche du pont (le pont a dix-sept arches). Je me suis approché du courant, avec quelques autres personnes, et nous avons regardé assez longtemps passer les glaçons sous la huitième arche... Là, j'ai rencontré le poète Lambert... J'ai sur lui le triste avantage de pouvoir dire que c'est la seconde

(1) Laterrade, *Ami des Champs*, année 1831, p. 17.

Digitized by Google

fois que je vois un pareil hiver et que j'ai marché sur notre Garonne. Il y a, en effet, quarante ans que notre fleuve offrit le même spectacle... Depuis 1789, nous n'avions rien vu de semblable; serait-ce le sinistre augure d'une nouvelle révolution? *Deus omen avertat.* »

La pluie, amenée par un coup de vent du Sud-Ouest, survient enfin le 19 janvier et son premier effet est de transformer les rues en « un miroir de glace sur laquelle les chiens eux-mêmes tombent ». Cependant, le temps est changé, le niveau de la Garonne monte, les glaces sont plus mobiles et la débâcle arrive enfin le 23 en produisant en rade de nombreux accidents.

Le 28 janvier, les bateaux reprennent leur service vers le haut et le bas du fleuve.

Dès les premiers jours de janvier il avait été nécessaire de créer des ateliers de charité et de distribuer de très nombreux secours aux indigents. Le 10 du même mois, le maire, vicomte Duhamel, craignant la disette du pain, avait pris un arrêté instituant des primes en argent pour ceux qui apporteraient des farines entre le 14 et le 31 janvier. Comme en 1789, la police et la troupe durent intervenir pour protéger les arbres des allées de Boutaut et les bois de Portets contre ceux qui voulaient les abattre.

Enfin, les réservoirs d'eau du Grand-Théâtre ayant gelé et ne pouvant plus être d'aucun secours contre les incendies, les représentations furent interrompues du 5 au 15 janvier.

La seconde période de froid, celle du 29 janvier au 7 février, fut beaucoup moins cruelle puisque le thermomètre ne descendit pas au-dessous de — 10°,6; mais néanmoins les glaçons firent de nouveau leur apparition sur la Garonne et la Dordogne, et dans le port de Bordeaux la navigation fut interrompue du 2 au 9 février.

A partir du 12 février, la température reprend sa marche ascendante normale. L'hiver est fini; il avait commencé le 15 décembre et duré ainsi près de cinquante jours. Quant à la Garonne, elle avait charrié pendant trente-six jours.

Digitized by Google

Notons aussi que pendant la grande période de froid, on a passé la rivière à sec à Cadillac et au-dessus, et la Dordogne à partir de Libourne.

L'hiver 1829-1830 a eu une action funeste sur les végétaux. Plusieurs grands arbres forestiers éclatèrent, et, en quelques points des Landes, les pins eux-mêmes furent atteints par la gelée; tous les lauriers et figuiers périrent. La vigne souffrit cruellement et se trouva abîmée pour plusieurs années. Les céréales seules, protégées par les neiges, qui ont couvert le sol du 24 décembre au 13 janvier, furent en partie épargnées et donnèrent en général une récolte passable.

De 1830 à 1835, les hivers paraissent avoir été doux, et je n'ai trouvé aucun document capable de signaler particulièrement l'un d'entr'eux.

Avec la seconde partie de l'année 1835 commence la série des observations météorologiques du D[r] Révolat père, aujourd'hui déposées aux Archives départementales, qui sont un excellent guide pour l'étude des hivers rigoureux compris entre 1835 et 1846.

*Hiver 1835-1836.* — L'hiver commence dès le 11 décembre, par un abaissement brusque de la température, abaissement qui se maintient jusqu'au 30 du même mois; il y a ensuite trois jours de temps doux, et puis un retour de froid qui dure presque une semaine. L'hiver était terminé le 7 janvier.

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1835-1836.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1835. Décembre | 10. | + 3°7 | 1835. Décembre | 20. | — 0°6 | 1835. Décembre | 30. | + 2°5 |
| — | 11. | — 5,0 | — | 21. | — 5,0 | — | 31. | + 5,0 |
| — | 12. | — 6,2 | — | 22. | — 4,4 | 1836. Janvier | 1. | — 2,5 |
| — | 13. | — 8,1 | — | 23. | — 5,0 | — | 2. | — 3,7 |
| — | 14. | — 5,0 | — | 24. | — 8,8 | — | 3. | — 8,7 |
| — | 15. | — 3,1 | — | 25. | — 5,0 | — | 4. | — 5,0 |
| — | 16. | — 5,0 | — | 26. | — 6.2 | — | 5. | — 1,9 |
| — | 17. | — 3,7 | — | 27. | — 7,5 | — | 6. | — 0,6 |
| — | 18. | — 4,4 | — | 28. | — 9,4 | — | 7. | + 1,2 |
| — | 19. | — 3,1 | — | 29. | — 2,5 | | | |

Digitized by Google

La première période de froid renferme dix-neuf jours consécutifs de gelée avec vent de N. ou de NNE.; la seconde, six jours de gelée. L'abaissement de température n'a pas dépassé un chiffre très souvent atteint à Bordeaux.

La Garonne charrie, et la navigation est interrompue du 24 décembre au 10 janvier.

*Hiver 1836-1837.* — L'hiver 1836-1837 est plus court que le précédent et sa durée normale; mais le thermomètre est, pendant la matinée du 3 janvier, descendu à 10 degrés au-dessous de zéro.

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1836-1837.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1836. Décembre | 24. | + 2°5 | 1836. Décembre | 31. | — 5°6 | 1837. Janvier | 7. | + 1°2 |
| — | 25. | — 1,3 | 1837. Janvier | 1. | — 8,1 | — | 8. | — 1,0 |
| — | 26. | — 3,8 | — | 2. | — 4,4 | — | 9. | 0,0 |
| — | 27. | — 3,8 | — | 3. | —10,0 | — | 10. | — 2,9 |
| — | 28. | — 6,2 | — | 4. | — 7,5 | — | 11. | + 2,5 |
| — | 29. | — 5,6 | — | 5. | — 7,5 | | | |
| — | 30. | — 5,4 | — | 6. | — 0,6 | | | |

*Hiver 1837-1838.* — Cet hiver est encore de longueur normale, mais l'abaissement de la température a été considérable les 10 et 15 janvier au matin.

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1837-1838.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1838. Janvier | 5. | + 2°5 | 1838. Janvier | 11. | — 8°8 | 1838. Janvier | 17 | — 2°5 |
| — | 6. | — 1,9 | — | 12. | — 5,0 | — | 18 | — 7,5 |
| — | 7. | — 2,5 | — | 13. | — 1,5 | — | 19 | — 7,5 |
| — | 8. | — 3,7 | — | 14. | — 7,5 | — | 20 | — 6,2 |
| — | 9. | — 5,0 | — | 15. | —11,3 | — | 21 | 0,0 |
| — | 10. | —12,5 | — | 16. | — 2,5 | — | 22 | + 2,5 |

La Garonne a charrié du 15 au 21 janvier.

*Hiver 1841-1842.* — La température, très douce jusqu'à la fin de décembre, s'abaisse brusquement à partir du 5 jan-

Digitized by Google

vier; mais le temps rigoureux ne persiste que jusqu'au 13. L'hiver est donc court, mais le froid est intense le 10 janvier.

**Températures à Bordeaux pendant l'hiver 1841-1842.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1841. Décembre | 27. | + 1°0 | 1842. Janvier | 3. | 0°0 | 1842. Janvier | 10. | — 10°0 |
| — | 28. | — 1,0 | — | 4. | 1,5 | — | 11. | — 2,0 |
| — | 29. | + 1,5 | — | 5. | — 2,0 | — | 12. | — 3,5 |
| — | 30. | + 3,5 | — | 6. | — 5,0 | — | 13. | 0,0 |
| — | 31. | — 1,0 | — | 7. | — 3,0 | — | 14. | 3,0 |
| 1842 Janvier | 1. | — 2,0 | — | 8. | — 7,5 | | | |
| — | 2. | 0,0 | — | 9. | — 8,0 | | | |

Du 5 au 13 janvier la Garonne charrie des glaces venues du haut de la rivière, et en particulier de la région de Toulouse où le froid paraît avoir été beaucoup plus vif que dans le pays bordelais.

Les hivers de 1845 à 1856 nous sont connus par les observations qui ont été faites à la Faculté des sciences sous la direction de M. Abria, et qui sont publiées dans les *Actes de l'Académie de Bordeaux* pour les années 1842 à 1856; trois d'entre eux sont seuls remarquables.

*Hiver 1844-1845.* — Cet hiver, qui fut très rigoureux dans l'est et le sud-est de la France, n'a guère duré plus d'une semaine à Bordeaux et, comme les précédents, il se signale par un jour de froid très vif. Le 11 décembre au matin le thermomètre s'abaisse à 9°,8 au-dessous du terme de congélation de l'eau. Les observations faites par M. Abria, à la Faculté des sciences, donnent pour cette période (*Actes de l'Académie de Bordeaux*, t. VII) :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1844-1845.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1844. Décembre | 1. | — 0°5 | 1844. Décembre | 6. | — 2°3 | 1844. Décembre | 11. | — 9°8 |
| — | 2. | 2 3 | — | 7. | — 4,1 | — | 12. | — 3,0 |
| — | 3. | 1,1 | — | 8. | — 7,0 | — | 13. | — 2,0 |
| — | 4. | 0,0 | — | 9. | — 7,9 | — | 14. | 0,5 |
| — | 5. | 0,2 | — | 10. | — 6,5 | | | |

Digitized by Google

*Hiver 1846-1847.* — Une première période de froid assez vif, pendant laquelle le thermomètre descend à 4 degrés au-dessous de zéro, se produit au milieu de décembre et se termine le 23 par un violent ouragan qui produit à Bordeaux et dans la campagne des dégâts considérables. Une seconde série de températures basses, près de 8 degrés au-dessous de zéro, s'observe entre le 26 décembre et le 2 janvier. Enfin, une dernière période de froid, plus longue que les précédentes, se produit entre le 26 février et le 14 mars.

Sans être précisément très rigoureux, l'hiver 1846-1847 s'est prolongé bien au delà de la période normale.

*Hiver 1853-1854.* — La fin de décembre 1853 est très froide et il tombe des neiges abondantes; les températures minima données par M. Abria sont les suivantes :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1853-1854.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1853. Décembre | 23. | 0°0 | 1853. Décembre | 26. | — 3°1 | 1853. Décembre | 29. | — 7°7 |
| — | 24. | — 1,0 | — | 27. | — 2,6 | — | 30. | — 6,0 |
| — | 25. | — 2,0 | — | 28. | — 4,1 | — | 31. | — 0,5 |

La Garonne commence à charrier le 28 décembre.

*Hiver 1854-1855.* — Le temps est froid du 13 au 28 janvier. Les registres de M. Abria donnent pour les températures minima de cette période :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1854-1855.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1855. Janvier | 12. | + 0°2 | 1855. Janvier | 18. | — 2°0 | 1855. Janvier | 24. | — 1°8 |
| — | 13. | — 2,5 | — | 19. | — 6,9 | — | 25. | — 1,1 |
| — | 14. | 0,5 | — | 20. | —11,0 | — | 26. | — 2,8 |
| — | 15. | — 2,6 | — | 21. | — 2,0 | — | 27. | — 0,6 |
| — | 16. | 2,1 | — | 22. | — 0,6 | — | 28. | 2,2 |
| — | 17. | — 4,0 | — | 23. | 0,7 | | | |

La nuit du 19 au 20 janvier a été très froide; mais ce coup de froid paraît n'avoir duré que quelques heures.

Pour les hivers de la période comprise entre 1856 et 1880, j'ai dû avoir recours aux observations faites par M. Petit-Lafitte,

Digitized by Google

professeur départemental d'agriculture, dont les manuscrits sont conservés à la Bibliothèque municipale.

Les observations de M. Petit-Lafitte, commencées en 1849, ont pendant plusieurs années été prises dans des conditions si défectueuses qu'il est impossible de les soumettre à une discussion sérieuse. De 1849 à 1855, les températures minima et maxima que le professeur d'agriculture de la Gironde a publiées dans son journal, ou communiquées au *Journal d'Agriculture pratique* de J. Barral, présentent en effet des minima beaucoup trop élevés et des maxima probablement trop faibles. Une note de M. Barral, annexée à la revue météorologique de septembre 1855, éclaire d'ailleurs sur les conditions dans lesquelles ces observations étaient faites. « Ainsi, écrit M. Barral, nous avons plusieurs fois averti M. Petit-Lafitte, de Bordeaux, que nous regardions ses observations thermométriques comme trop élevées; aujourd'hui, il nous écrit: « Les » observations que je vous transmettais jusqu'ici, étaient faites » sur le navire École mouillé dans notre port; elles étaient sans » doute exagérées à cause du bois et du voisinage de l'eau; j'ai » pris le parti de les faire dorénavant moi-même, et vous verrez » par celles que je vous envoie, que je vais me trouver d'accord » avec les autres observateurs (1). »

A partir de septembre 1855, les registres de M. Petit-Lafitte sont en effet d'une tenue plus régulière; néanmoins, les températures indiquées pour les minima et les maxima ne paraissent pas être les minima et les maxima réels, car on trouve souvent dans les marges des températures de la nuit notablement plus basses que celles données par les minima transmis au *Journal d'Agriculture pratique*. Ces irrégularités disparaissent à partir de 1859.

*Hiver 1857-1858.* — Les froids de janvier 1858 ont été vifs; c'est ainsi que dans certaines nuits, du 4 au 9, on a

(1) *Journal d'Agriculture pratique*, 4e série, t. IV, p. 397: « Revue météorologique » de septembre 1855.


Digitized by Google

observé des températures de — 5°,0, — 5°,8 et — 7°,0. La Garonne et la Dordogne ont charrié des glaces. Le mois a d'ailleurs été absolument sec.

*Hiver 1859-1860.* — La température a été rigoureuse en décembre. La seconde partie de l'hiver a été douce. Les observations de M. Petit-Lafitte fournissent les données suivantes:

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1859-1860.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1859. Décembre | 10. | — 1°0 | 1859. Décembre | 15. | — 2°5 | 1859. Décembre | 20. | — 5°5 |
| — | 11. | — 1,5 | — | 16. | — 3,0 | — | 21. | — 1,3 |
| — | 12. | — 2,3 | — | 17. | — 3,0 | — | 22. | 4,0 |
| — | 13. | — 2,0 | — | 18. | — 3,0 | | | |
| — | 14. | 0,5 | — | 19. | — 8,0 | | | |

La Garonne a commencé à charrier des glaces le 21 décembre.

*Hiver 1867-1868.* — Après une première période de froid, du 8 au 11 décembre, la température se relève et le temps est doux jusqu'au 30 décembre. A cette dernière date commence une période de froids intenses, qui donne, suivant les observations de M. Petit-Lafitte, les minima suivants :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1867-1868.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1867. Décembre | 30. | — 1°5 | 1868. Janvier | 4. | — 7°0 | 1863. Janvier | 9. | — 1°0 |
| — | 31. | — 5,0 | — | 5. | — 5,5 | — | 10. | — 3,0 |
| 1868. Janvier | 1. | — 8,0 | — | 6. | — 5,0 | — | 11. | — 1,0 |
| — | 2. | — 6,0 | — | 7. | — 1,0 | | | |
| — | 3. | — 6,5 | — | 8. | — 6,0 | | | |

Le 2 janvier la Garonne commence à charrier devant Marmande et les glaces se montrent à Bordeaux le 4 pour devenir très nombreuses le lendemain.

Le 5 janvier la Dordogne est complètement prise devant Castillon.

*Hiver 1870-1871.* — L'hiver 1870-1871 a été à la fois hâtif et prolongé, sans que la température ait jamais été excessivement basse. Il présente quatre périodes de froid : la première, du 2 au 10 décembre 1870; la seconde, du 22 dé-

Digitized by Google

cembre au 5 janvier; la troisième, du 12 au 16 janvier; enfin la quatrième, du 26 au 30 janvier.

Voici, pour ces diverses périodes, les températures minima notées par M. Petit-Lafitte :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'année 1870-1871.**

1re Période.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1870. Décembre | 2. | — 2°5 | 1870. Décembre | 6. | — 9°0 | 1870. Décembre | 10. | — 1°0 |
| — | 3. | — 4,0 | — | 7. | — 8,5 | — | 11. | — 0,5 |
| — | 4. | — 1,5 | — | 8. | — 5,0 | | | |
| — | 5. | — 4,5 | — | 9. | — 5,0 | | | |

2e Période.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1870. Décembre | 22. | 0°0 | 1870. Décembre | 28. | — 9°5 | 1871. Janvier | 3. | — 7°5 |
| — | 23. | — 5,5 | — | 29. | — 9,5 | — | 4. | — 9,0 |
| — | 24. | — 7,0 | — | 30. | — 5,0 | — | 5. | — 7,0 |
| — | 25. | — 5,0 | — | 31. | —11,0 | — | 6. | — 2,0 |
| — | 26. | — 7,5 | 1871. Janvier | 1. | — 6,0 | | | |
| — | 27. | —10,0 | — | 2. | — 9,0 | | | |

3e Période.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1871. Janvier | 12. | — 3°0 | 1871. Janvier | 14. | — 4°0 | 1871. Janvier | 16. | — 0°5 |
| — | 13. | — 5,0 | — | 15. | — 6,0 | | | |

4e Période.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1871. Janvier | 26. | — 1°0 | 1871. Janvier | 28. | — 2°5 | 1871. Janvier | 30. | — 5°0 |
| — | 27. | — 2,0 | — | 29. | — 5,0 | — | 31. | + 1,0 |

La grande période de froid, du 22 décembre au 6 janvier, comprend quinze jours de gelée consécutifs, et le 31 décembre le thermomètre est descendu à 11 degrés au-dessous de zéro.

La Garonne a charrié de nombreux glaçons du 27 décembre au 6 janvier, et des lames de glace se sont formées dans les parties peu profondes du bassin d'Arcachon.

Les vignes ont considérablement souffert.

*Hiver 1871-1872.* — Les froids ont commencé à la fin de novembre et se sont prolongés jusqu'au 18 décembre, soit dix-huit jours consécutifs de gelée. Le reste de l'hiver a été assez doux.

Digitized by Google

Les températures minima obtenues par M. Petit-Lafitte ont été les suivantes :

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1871-1872.**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1871. Novembre 30. | — 2°0 | 1871. Décembre 7. | — 0°5 | 1871. Décembre 14. | — 8°0 |
| Décembre 1. | — 3,0 | — 8. | — 2,0 | — 15. | — 4,0 |
| — 2. | 0,0 | — 9. | — 7,0 | — 16. | — 0,5 |
| — 3. | — 3,5 | — 10. | — 8,0 | — 17. | — 1,5 |
| — 4. | — 4,0 | — 11. | — 9,0 | — 18. | — 1,0 |
| — 5. | — 4,0 | — 12. | — 4,5 | | |
| — 6. | — 7,0 | — 13. | — 9,0 | | |

La période de froid a été longue, sans être rigoureuse.

La Garonne charrie du 10 au 18 décembre.

*Hiver 1875-1876.* — L'hiver est remarquable par la longueur de ses deux principales périodes de froid. La première s'étend du 27 novembre au 16 décembre 1875 et présente ainsi vingt jours consécutifs de gelée; la seconde, plus courte, quinze jours de gelée, commence le 6 janvier 1876 et ne finit que le 20 du même mois.

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1875-1876.**

1re Période.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1875. Novembre 27. | — 3°0 | 1875. Décembre 4. | — 4°0 | 1875. Décembre 11. | — 8°0 |
| — 28. | — 2,0 | — 5. | — 5,0 | — 12. | — 4,0 |
| — 29. | — 4,0 | — 6. | — 5,0 | — 13. | — 2,0 |
| — 30. | — 3,0 | — 7. | — 5,0 | — 14. | 0,0 |
| Décembre 1. | — 2,0 | — 8. | — 7,0 | — 15. | — 4,0 |
| — 2. | — 2,0 | — 9. | — 7,0 | — 16. | — 1,0 |
| — 3 | — 3,0 | — 10. | — 5,0 | | |

2e Période.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1876. Janvier 6. | — 3°0 | 1876. Janvier 11. | — 6°0 | 1876. Janvier 16. | — 5°0 |
| — 7. | — 7,0 | — 12. | — 9,0 | — 17. | — 7,0 |
| — 8. | — 6,0 | — 13. | —11,0 | — 18. | — 4,0 |
| — 9. | — 8,0 | — 14. | — 6,0 | — 19. | 0,0 |
| — 10. | — 6,0 | — 15. | — 3,0 | — 20. | — 1,0 |

La Garonne charrie une première fois du 9 au 15 décembre; elle porte de nouveau des glaces du 17 au 20 janvier.

La neige a été abondante du 11 au 15 janvier.

Digitized by Google

*Hiver 1879-1880.* — L'hiver 1879-1880 présente deux longues séries de froid assez intense. La première commence le 30 novembre et continue jusqu'au 30 décembre avec une courte interruption le 4 et le 5; elle comprend ainsi vingt-huit jours de gelée. La seconde période de froid débute le 5 janvier et s'étend jusqu'au 29 du même mois, donnant ainsi vingt-deux jours de gelée. L'hiver peut ensuite être considéré comme terminé.

Voici, pour la première période, les minima obtenus par M. Petit-Lafitte dans son domicile de la rue du Tondu, et, pour la seconde, les minima relevés à l'Observatoire de Floirac à l'aide d'un thermomètre placé sous un abri dans les conditions normales. Ces derniers minima coïncident assez sensiblement avec les chiffres que M. Petit-Lafitte obtenait à la même époque.

**Températures minima à Bordeaux pendant l'hiver 1879-1880.**

1re Période.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1879. Novembre | 30. | 0°0 | 1879. Décembre | 10. | — 8°0 | 1879. Décembre | 20. | — 8°0 |
| Décembre | 1. | — 1,0 | — | 11. | — 7,0 | — | 21. | — 6,0 |
| — | 2. | — 1,5 | — | 12. | — 7,0 | — | 22. | — 6,0 |
| — | 3. | — 1,0 | — | 13. | — 6,0 | — | 23. | — 1,0 |
| — | 4. | 5,0 | — | 14. | — 8,0 | — | 24. | — 5,0 |
| — | 5. | 2,0 | — | 15. | — 7,0 | — | 25. | — 5,0 |
| — | 6. | — 5,0 | — | 16. | — 7,0 | — | 26. | — 6,0 |
| — | 7. | — 3,0 | — | 17. | — 7,0 | — | 27. | — 7,0 |
| — | 8. | — 9,0 | — | 18. | —11,0 | — | 28. | — 6,0 |
| — | 9. | — 4,0 | — | 19. | — 9,0 | — | 29. | — 5,0 |

2e Période.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1880. Janvier | 5. | — 0°4 | 1880. Janvier | 14. | — 3°8 | 1880. Janvier | 23. | — 4°6 |
| — | 6. | — 0,8 | — | 15. | 0,8 | — | 24. | — 6,8 |
| — | 7. | — 0,2 | — | 16. | — 1,6 | — | 25. | — 3,9 |
| — | 8. | — 3,5 | — | 17. | — 2,9 | — | 26. | — 0,9 |
| — | 9. | — 3,1 | — | 18. | 0,1 | — | 27. | — 1,3 |
| — | 10. | — 2,0 | — | 19. | — 0,7 | — | 28. | — 4,5 |
| — | 11. | — 2,2 | — | 20. | — 7,0 | — | 29. | 0,5 |
| — | 12. | — 3,1 | — | 21. | — 5,5 | | | |
| — | 13. | — 5,7 | — | 22. | — 5,3 | | | |

Pendant l'hiver, le nombre des jours de gelée, jours pendant



Digitized by Google

lesquels le thermomètre est descendu à 0°,0, ou au-dessous de zéro, est de cinquante-cinq, ainsi répartis :

**Nombre de jours de gelée en 1879-1880.**

| | | |
|---|---|---|
| 1879. | Novembre......... | 4 |
| — | Décembre......... | 27 |
| 1880. | Janvier........... | 22 |
| — | Février............ | 2 |
| | | 55 |

A l'Observatoire, le nombre moyen des jours de gelée est de quarante.

Les deux périodes de froid du 6 au 29 décembre et du 5 au 19 janvier coïncident, ainsi que l'a fait remarquer M. G. Lespiault [1], avec la présence d'un immense anticyclone, au milieu duquel la pression barométrique s'élève à 785 millimètres, sur le centre de l'Europe et la France. Le ciel était donc beau et le temps sec, ce qui a conduit à l'abaissement progressif du thermomètre et à une constance remarquable des températures minima de la nuit.

On sait d'ailleurs, par l'étude des cartes météorologiques journalières du Bureau central, combien sont stables les anticyclones, et c'est ce qui explique la longue durée des deux périodes de froid considérées.

Les observations météorologiques de l'Observatoire de Bordeaux (Floirac) ont commencé le 1er janvier 1880 et sont publiées dans les volumes des *Annales de l'Observatoire.* Je ne reproduirai donc plus dans ce mémoire les minima des périodes de froid, me bornant à une analyse sommaire des circonstances qui ont caractérisé les hivers remarquables, les détails sur la marche du thermomètre étant maintenant faciles à retrouver.

*Hiver 1880-1881.* — Après un mois de décembre très doux, le froid a commencé le 3 janvier et est resté normal,

[1] G. Lespiault, *Note sur l'Hiver 1879-1880.* Procès-verbaux des séances de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, séance du 22 janvier 1880.

Digitized by Google

minima de 3 à 4 degrés au-dessous de zéro, jusqu'au 15; mais, dans la journée du 15 la baisse du thermomètre s'est rapidement accentuée et, dans la nuit du 15 au 16, la température est descendue à 16°,2 au-dessous de zéro. Ce coup de froid, produit par un appel d'air des régions élevées déterminé par la dépression barométrique intense qui existait à cette date sur le golfe du Lion, n'a d'ailleurs duré que quelques heures; à neuf heures du matin le thermomètre était à — 14°,2, à midi à — 6°,9, à trois heures à — 4°7, et le minima de la nuit du 16 au 17 a été seulement de — 11°,2. Dans cette même nuit du 15 au 16, un thermomètre placé à quelques centimètres au-dessus de la neige, qui couvrait le sol d'une couche épaisse, a indiqué — 22°,2.

Le dégel a commencé dans la journée du 17 janvier (température maxima 5°,1) sous l'influence d'un coup de vent de SSE., accompagné d'une baisse rapide du baromètre.

Il semble d'ailleurs qu'à un coup de froid succède presque toujours, au moins dans le climat bordelais, un dégel brusque dont la rapidité met à néant les précautions prises pour empêcher les instruments astronomiques de se couvrir d'eau.

Le minima de — 16°,2 est tout à fait exceptionnel pour le climat de Bordeaux; il est plus grand que les plus grands froids de janvier 1748, de décembre 1788 (— 15°,6), de décembre 1829 (— 13°,1), de janvier 1838 (— 12°,5), de décembre 1870 (— 11°0); les froids de 1709 paraissent seuls avoir été plus grands.

Pendant l'hiver, le nombre des jours de gelée n'a d'ailleurs été que de trente-un, soit environ dix de moins que la moyenne; ils sont ainsi répartis :

**Nombre de jours de gelée en 1880-1881.**

| | | |
|---|---|---|
| 1880. | Novembre | 7 |
| — | Décembre | 0 |
| 1881. | Janvier | 21 |
| — | Février | 2 |
| — | Mars | 1 |
| | | 31 |

La gelée du 16 janvier, préparée par une assez longue série de froid, n'a pas fait un mal excessif aux végétaux.

Dans le voisinage immédiat de Bordeaux, d'assez nombreux lauriers ont été gelés, mais la vigne n'a que partiellement souffert, beaucoup de bourgeons ayant résisté; le mal a été moindre sur la rive droite de la Gironde que sur la rive gauche et il diminue à mesure qu'on s'approche de la mer. Le Médoc a été peu atteint. Dans la partie supérieure du bassin de la Garonne le désastre a été beaucoup plus grand; presque tous les bourgeons des plants français ont été détruits, et, dans les plaines, un grand nombre de ceps se sont trouvés gelés jusqu'au ras du sol. Les vignes d'origine américaine ont, au contraire, presque toutes résisté (1).

Les céréales, protégées par la neige tombée les 13 et 14 janvier, sont restées presque indemnes.

*Hiver 1887-1888.* — L'hiver 1887-1888 est remarquable par sa longueur plutôt que par l'intensité du froid. La première gelée se produit à l'Observatoire de Floirac le 20 octobre, et il gèle encore les 26, 27 et 28 du même mois. Novembre est très doux. Le thermomètre minima est au-dessous de zéro les trois premiers jours de décembre; une période de gelée s'observe du 23 décembre au 1er janvier. Pendant ce dernier mois, on constate des alternatives nombreuses de chaud et de froid, et la température descend à — 7°,9 le 31 janvier. La première moitié de février est douce, et il n'y a de refroidissement véritable qu'à partir du 15 février; cette période de froid dure jusqu'au 5 mars, soit pendant dix-huit jours consécutifs, avec un minimum de — 8°,2 les 24 et 25 février. Il gèle ensuite du 18 au 22 mars. Le thermomètre minima est de nouveau au-dessous de zéro du 5 au 8 avril.

En résumé, il y a dans l'hiver 1887-1888 soixante et un

---

(1) G. Lespiault, *Note sur la grande gelée du 16 janvier 1881.* Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, séance du 17 février 1881.

Digitized by Google

jours de gelée, soit vingt-un de plus que la moyenne; le plus grand froid a été — 8°,2.

**Nombre des jours de gelée pendant l'hiver 1887-1888.**

| | | |
|---|---|---|
| 1887. | Octobre | 4 |
| — | Novembre | 2 |
| — | Décembre | 11 |
| 1888. | Janvier | 13 |
| — | Février | 17 |
| — | Mars | 10 |
| — | Avril | 4 |
| | | 61 |

*Hiver 1890-1891.* — Les premières gelées commencent le 27 novembre 1890 et le thermomètre descend à — 8°,8 le 28; la gelée continue jusqu'au 5 décembre. Après quelques alternatives de froid et de temps chaud, les minima sont de nouveau au-dessous de zéro le 22 décembre et il gèle d'une manière continue jusqu'au 29 du même mois; le minimum de cette période est — 6°,6 le 26.

En janvier 1891 les minima de la nuit sont au-dessous de zéro du 6 au 21, soit pendant seize jours consécutifs. C'est dans cette période que se produit le plus grand froid de l'hiver, — 11°,3 le 18 janvier 1891.

Le mois de février est encore assez froid; le thermomètre descend à — 3°,8 le 12.

La dernière gelée se produit le 29 mars.

En 1890-1891, le nombre des jours de gelée a été de soixante-quatre, soit vingt-quatre de plus que la moyenne; ils se répartissent de la manière suivante :

**Nombre des jours de gelée dans l'hiver 1890-1891.**

| | | |
|---|---|---|
| 1890. | Octobre | 2 |
| — | Novembre | 4 |
| — | Décembre | 21 |
| 1891. | Janvier | 18 |
| — | Février | 15 |
| — | Mars | 4 |
| | | 64 |

La Garonne a charrié des glaçons pendant la période des

Digitized by Google

froids de novembre-décembre, et, à cette même époque, le bassin d'Arcachon s'est partiellement couvert de glaces, au moins dans la partie nord, qui est peu profonde et où la marée laisse à découvert une grande étendue de marécages. Les flaques d'eau formées au descendant se transformaient en lames de glace à chaque basse mer, et la marée montante les soulevait ensuite, sans les fondre complètement, pour les abandonner sur les joncs, où elles persistaient pendant plusieurs heures. C'est le même phénomène qui avait été observé en 1870-1871, et le spectacle de ces glaçons irisés par le soleil était frappant.

En publiant aujourd'hui ce mémoire, dont quelques éléments sont rassemblés depuis des années, et qui est, dans ma pensée, un complément au travail d'Arago sur les *Hivers mémorables*, je sais très bien que je suis resté incomplet. J'espère que mes lecteurs excuseront les lacunes de mon travail; je n'ai eu à ma disposition, comme le savant astronome, ni une suite continue d'observations météorologiques, ni l'analogue du *Journal des crues et diminutions de la Seine*. Toutes les rectifications seront les bienvenues.

(Observatoire de Bordeaux. — Mars 1894.)

---

Digitized by Google

# NOTE

SUR

# L'HYBRIDATION SANS CROISEMENT

## OU FAUSSE HYBRIDATION

PAR M. A. MILLARDET,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX, CORRESPONDANT DE L'INSTITUT.

---

## I

Dans son important ouvrage sur l'hybridation des végétaux, Gärtner formule cette loi que « nous ne connaissons aucun cas où le type d'une des espèces composantes d'un hybride ait passé intégralement dans ce dernier » (1). Tous les physiologistes qui se sont occupés d'hybridation, avant comme après lui, ont partagé cette même opinion.

Mon intention, dans ce travail, est de démontrer que dans le genre Fraisier *(Fragaria)*, les produits obtenus par l'hybridation de certaines espèces font exception à la règle générale qu'on vient de lire. Ils reproduisent intégralement le type spécifique du père ou celui de la mère, et ressemblent par conséquent exclusivement soit à l'un, soit à l'autre, sans réunir jamais à la fois aucun des caractères distinctifs des deux espèces composantes.

---

(1) Wir kennen kein Beispiel, wo der Typus von einem der stammeltern ganz unverändert in den Bastard übergegangen wäre... — Gärtner, *Versuche und Beobachtungen über die Bastarderzeugung im Pflanzenreich.* — Stuttgart, 1849; p. 257.


Digitized by Google

## *A*. — Reproduction du type spécifique paternel [1].

### Exemple 1.

Hybridation n° 11 (1884) : *Fraisier des quatre saisons blanc, à coulants* × *Chili velu.* — Obtenu quatre hybrides, dont un (11-1) est exactement semblable à la mère, *sauf les fruits, qui sont rouges;* tandis que les trois autres (11-2, 3 et 4) reproduisent complètement le type du père, dont il est à peu près impossible de les distinguer. Ces trois plantes ont entre elles la plus étroite ressemblance. Les fleurs en sont grandes, hermaphrodites, mais à étamines assez peu développées. Les anthères sont à peu près normales, ainsi que le pollen. Les

---

[1] Toutes les hybridations dont il est question dans ce travail ont été exécutées de la manière suivante :

Les plantes, cultivées en pots, étaient placées, à part, sous autant de grandes cages de fil de fer garnies de tulle et quelquefois même de mousseline très fine, de manière à empêcher complètement non seulement l'accès des insectes, mais aussi, lorsqu'elles étaient couvertes de mousseline, la pénétration du pollen étranger qui aurait pu être apporté par le vent. Par leur partie inférieure, les pots plongeaient dans de petits bassins de terre cuite, pleins d'eau, qu'on pouvait remplir sans enlever les cages. De cette façon, l'accès des insectes, sauf les *thrips* et quelques fourmis qui pouvaient se trouver dans les pots dès le commencement de l'expérience, était absolument impossible.

Les fleurs sur lesquelles les hybridations ont été tentées ont toujours été castrées avant leur épanouissement, dans le bouton, par conséquent, vingt-quatre heures au moins avant l'ouverture des anthères. Dès la castration terminée, les plantes étaient isolées sous les cages en question. C'est en général le lendemain ou le surlendemain de la castration que la pollinisation avait lieu, à l'aide de fleurs cueillies la veille ou l'avant-veille, et conservées à part dans des boîtes spéciales pour chaque espèce de fleurs. Pour opérer la pollinisation, la cage était enlevée, puis, l'opération terminée, replacée et laissée ensuite pendant huit à dix jours, jusqu'au noircissement complet des styles et des stigmates.

Les graines ont toujours été récoltées et semées par moi-même dans de la terre de bruyère entièrement neuve, provenant directement de la forêt, et ne pouvant, par conséquent, contenir aucune graine de fraisier. Je crois donc être certain d'avoir prévenu toute espèce d'erreur.

Pour ne pas retarder l'exposition des observations, je donnerai ici, une fois pour toutes, la nomenclature des espèces ou variétés qui figurent dans ce travail.

*Fr. vesca* L. — Type sauvage de diverses provenances : Auvergne, Roussillon, États-Unis d'Amérique.

*Fraisier des Alpes* des horticulteurs. — Variété cultivée de l'espèce précédente, remontante, identique au type sauvage.

Digitized by Google

fruits sont de *Chiloensis*. Coulants non ramifiés de *Chiloensis*. — Toutes trois sont fertiles, mais médiocrement.

Les graines de ces trois hybrides ont donné lieu aux semis suivants :

Semis R (1889). — A fourni deux plantes du type *Chiloensis* pur. Ces plantes ont toujours été infertiles. Étamines et anthères peu développées. Pollen imparfait ou nul.

Semis AC (1891). — Fécondé l'hybride 11-2 par 11-3. Obtenu neuf plantes réduites à trois par les froids de l'hiver. Ces trois plantes sont des *Chiloensis* purs ; deux sont fertiles.

Semis AD (1891). — Graines provenant des mêmes hybrides ayant fleuri librement. Obtenu quinze plantes, la plupart *Chiloensis* purs (à coulants simples), plusieurs à coulants un peu

---

*Fraisier des quatre saisons blanc.* — Variété cultivée du *Fr. vesca,* identique à la précédente, mais à fruits blancs.

*Gaillon rouge.* — Variété cultivée du *Fr. vesca* à fruits rouges, *sans coulants.*

*Fr. elatior* Ehrh. — Type sauvage recueilli par moi à la base du plateau de Gergovie, en Auvergne.

*Black-Hautbois.* — Variété cultivée de cette dernière espèce, entièrement conforme au type, sauf en ce qui concerne les fleurs, qui sont hermaphrodites au lieu d'être unisexuées. Le *Fr. elatior* est dioïque.

*Belle-Bordelaise.* — Mêmes remarques.

*Fr. chiloensis* Duch. — Type sauvage envoyé du Chili par M. Le Feuvre, d'une part, et, d'autre part, de Californie par M. le Dr Anderson.

*Chili velu.* — Variété cultivée de l'espèce précédente, conforme au type, si ce n'est que les fleurs sont hermaphrodites, tandis que dans le *Chiloensis* sauvage elles m'ont toujours paru unisexuées et les plantes dioïques.

*Fr. virginiana* Ehrh. — Type sauvage provenant directement des forêts du Massachusets et du Connecticut. Envoi de MM. Farlow et Roland Thaxter.

*Globe.* — Variété cultivée, hybride de *Chiloensis* et *Virginiana.*

*Ananas.* — Variété cultivée du *Chiloensis.* Les stolons, habituellement simples, sont quelquefois ramifiés, ce qui indique une certaine parenté avec le *Virginiana.*

*Docteur Nicaise.* — Variété cultivée, hybride de *Chiloensis* et *Virginiana.*

*Fr. Grayana* E. Vilmorin (*Fr. Virginiana* var. *Illinoensis* A. Gray). — Type sauvage envoyé par M. Eggert de Saint-Louis du Missouri.

*Fr. californica* Auct. (*Fr. lucida* E. Vilm.). — Type sauvage envoyé de Californie par M. le Dr Anderson.

Les hybridations sont désignées par des numéros d'ordre, et les hybrides par un second numéro. Ainsi l'hybride 11-3 est la plante 3 de l'hybridation 11.

Les semis d'hybrides sont désignés par des lettres. Ainsi B est le semis de l'hybride 4-7, et B-1 est la plante 1 de ce semis.

Le signe × signifie fécondé par.

Digitized by Google

ramifiés, par conséquent résultant d'un croisement avec quelque fraisier différent (probablement américain) du jardin. Trois plantes seulement sont fertiles et à fruits de *Chiloensis*. Plusieurs ont le port anormal et les feuilles recroquevillées. Quelques-unes ont l'aspect souffreteux, mais dans aucune on ne peut constater le moindre caractère de *Vesca*.

Semis AL (1892). — Graines provenant d'hybrides ayant fleuri librement. Obtenu trente-sept plantes, parmi lesquelles quelques-unes ont les coulants simples et semblent des *Chiloensis* purs. Le plus grand nombre a les coulants plus ou moins ramifiés et est certainement croisé de *Virginiana*. Dans quelques-unes, ce dernier type spécifique prédomine ou même l'emporte complètement. Deux plantes ont des caractères d'*Elatior*, mais elles n'ont pas encore fleuri. Aucune ne présente le moindre caractère de *Vesca*. Environ la moitié de ces plantes est infertile (mâle). Quelques-unes sont rabougries ou à feuillage crispé. Dans l'une d'elles, les feuilles ont cinq folioles.

Semis AX (1893). — Semé les graines des hybrides 11-3 et 11-4, qui avaient fleuri librement. Obtenu cent une plantes qui n'ont pas encore fructifié. L'aspect de ce semis est très varié. Il n'y a qu'un très petit nombre de *Chiloensis* purs. La majorité est constituée par des hybrides de *Virginiana*, comme dans le semis AL. Pas la moindre trace de sang de *Vesca*.

Semis AU (1893). — Semé les graines de quelques-unes des plantes du semis AD (voir un peu plus haut) qui avaient fleuri librement, et obtenu quarante-sept plantes qui n'ont pas encore fructifié. — Mêmes remarques générales sur ce semis que sur le précédent. Pas de traces de sang de *Vesca*.

L'hybride 11-1 (semblable à la mère) étant mort accidentellement après avoir donné ses premiers fruits, il ne m'a pas été possible d'en semer les graines.

**Exemple 2.**

Hybridation n° 10 (1885) : *Black-Hautbois* × *Globe*. — Obtenu quinze hybrides, dont quatorze reproduisent exactement

Digitized by Google

le type spécifique de la mère; un seul (10-6) reproduit le type du père sans le moindre caractère maternel.

Parmi les hybrides du type maternel, quelques-uns sont mâles, les autres femelles; il y en a aussi à fleurs hermaphrodites. Çà et là quelques anomalies de peu d'importance dans le feuillage.

L'hybride 10-6 est vigoureux, à fleurs de grandeur moyenne, hermaphrodites. Les étamines et les anthères en sont normales. Le pollen, examiné au microscope, se montre composé pour un tiers de grains normaux; les deux autres tiers sont formés de grains petits, vides. La plante est très fertile. Ses fruits sont d'un tiers plus petits que dans le *Globe,* mais à saveur identique.

**Semis de graines d'hybrides du type maternel.**

Semis C (1887). — Semé les graines de l'hybride 10-4, qui avait fleuri librement. Obtenu vingt-cinq plantes qui toutes reproduisent intégralement le type de la mère, sauf une seule (C-18), qui semble un *Virginiana* pur à fleurs exclusivement mâles. — Je présume, comme la plante avait fleuri librement, qu'il y a eu pour cette plante apport de pollen étranger plutôt que retour spontané au type paternel.

Quant aux vingt-quatre plantes du type maternel, elles sont les unes fertiles, les autres stériles (mâles). Quelques-unes montrent des anomalies de peu d'importance dans le feuillage.

Semis O (1889). — Semé les graines de l'hybride 10-3, qui avait fleuri librement. Obtenu seize plantes, toutes du type maternel, sans mélange de caractères étrangers à ce dernier. Elles sont fertiles en majorité. La plupart sont très vigoureuses, mais quelques-unes sont un peu rabougries, d'aspect étrange, à feuilles brièvement pétiolées, crispées, d'un vert un peu plus foncé que dans le *Black-Hautbois.*

On voit que sur quarante et une plantes issues d'hybrides ayant uniquement le type maternel, quarante ont conservé exclusi-

Digitized by Google

vement ce même type et une seule a pris le type paternel, sans mélange de caractères étrangers à ce dernier. Mais rien ne prouve que ce soit un cas de retour spontané, car la floraison ayant eu lieu librement, il peut y avoir eu, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, fécondation par un insecte à l'aide de pollen étranger.

**Semis de graines de l'hybride du type paternel.**

Semis U (1890). — Semé des graines de l'hybride 10-6, qui avait fleuri isolé sous une cage couverte de mousseline. Obtenu quatorze plantes vigoureuses, toutes exclusivement du type de la plante-mère (10-6), c'est-à-dire du type du père de l'hybride *(Globe)*. Toutes ou presque toutes les plantes sont fertiles et à fleurs hermaphrodites, comme la mère (10-6). Chez quelques-unes, cependant, les étamines sont un peu réduites en nombre et en longueur. Le pollen, à la simple vue, paraît normal. Les fruits sont identiques, pour la forme, la couleur et le goût, à ceux de la mère (10-6), mais en général beaucoup plus gros.

Semis V (1890). — Semé des graines du même hybride (10-6), qui avait fleuri à l'air libre. Obtenu trente-neuf plantes plus vigoureuses dans l'ensemble que les plantes U, mais reproduisant intégralement, comme ces dernières, le type de la mère (10-6), et auxquelles s'appliquent les mêmes remarques qu'aux plantes U.

On voit que sur cinquante-trois plantes issues d'un hybride ayant exclusivement le type paternel, aucune n'a montré la moindre altération de ce type.

**Exemple 3.**

Hybridation n° 8 (1885) : *Fraisier des quatre saisons blanc* × *Globe*. — Obtenu un seul hybride, qui appartient au type paternel sans un seul caractère de la mère. La plante est vigoureuse et fleurit abondamment. Les fleurs sont petites (de la grandeur des fleurs femelles de *Virginiana* et *Chiloensis*),

Digitized by Google

à étamines atrophiées et à anthères de couleur sale, ne contenant pas de pollen. Comme la plante s'est toujours montrée stérile, on doit en inférer que ses ovules ne sont pas en meilleur état que les anthères.

Dans cet exemple, l'hybridation a reproduit le type spécifique paternel sans aucun mélange des caractères du type maternel, mais il y a impuissance complète tant des organes femelles que des mâles.

#### Exemple 4.

Hybridation n° 16 (1888) : *Fraisier des Alpes* × *Ananas*. — Obtenu vingt-quatre hybrides qui tous reproduisent exactement le type de la mère *(Vesca)*, sauf une plante (hybride 16-14) qui reproduit le type paternel sans mélange de caractères étrangers à ce type. Mais cette plante est un peu rabougrie; elle fleurit peu et n'a jamais porté de fruits. Les fleurs sont petites, à étamines et anthères atrophiées, tout à fait semblables aux fleurs de la plante dont il vient d'être question (hybride 8).

Quant aux vingt-trois autres hybrides, je répète que ce sont des *Vesca* purs de tous points, vigoureux, fertiles, à fleurs et fruits de *Vesca*, sauf quatre plantes (16-8, 19, 20 et 23) dont les fruits, de forme, grandeur et saveur normales sont colorés en blanc-jaunâtre, au lieu d'offrir la coloration rouge habituelle.

Dernièrement (1892 et 1893), j'ai semé séparément (semis BU et BV) un lot de graines recueillies sur quelques hybrides à fruits rouges et un autre de graines provenant d'hybrides à fruits blancs. Sur une centaine de plantes de chaque lot, pas une ne s'écarte en apparence du type *Vesca*. Je les verrai probablement fleurir et fructifier ce printemps.

Dans cet exemple, sur vingt-quatre hybrides, il y a eu reproduction du type spécifique paternel sans mélange de caractères maternels une seule fois, tandis que le type maternel s'est reproduit intégralement dans vingt-trois plantes. Mais tandis que les vingt-trois hybrides du type maternel étaient de vigueur

Digitized by Google

et fertilité normales, celui qui reproduisait le type paternel était faible et impuissant du côté des organes femelles comme de celui des mâles.

**Exemple 5.**

Ayant fait, en 1887, un semis (B) de graines récoltées sur l'hybride 4-7 *(Black-Hautbois* × *Gaillon rouge),* qui avait fleuri librement et avait pu, par conséquent, recevoir du pollen étranger, j'obtins onze plantes de ce semis. Sur ce nombre, dix reproduisaient exactement le type spécifique de l'hybride 4-7, qui était celui du *Black-Hautbois,* tandis qu'une plante (B-1), d'un type absolument étranger à l'hybride 4-7, offrait tous les caractères d'un hybride de *Virginiana* et *Chiloensis,* sans mélange de caractères étrangers à ces deux espèces. Il y avait donc eu, sans nul doute, pour la graine qui avait donné naissance à la plante B-1, apport de pollen d'une des nombreuses fraises américaines cultivées dans mon jardin, et ce dernier type régnait absolument dans l'hybride B-1, à l'exclusion complète des caractères de sa mère. J'ajouterai que B-1 est très robuste et fructifère, que ses fleurs sont hermaphrodites, les étamines bien développées et que les anthères sont pleines de pollen qui, à l'œil nu, paraît normal.

**Exemple 6.**

Le même fait exactement s'est produit, la même année, dans un semis (A) de l'hybride 4-5, de même composition que 4-7 dont il vient d'être question. Sur seize plantes produites par ce semis, quinze avaient les caractères spécifiques de la plante-mère 4-5 (qui était un *Black-Hautbois* hermaphrodite, sans mélange) tandis qu'une (A-13) n'avait aucun des caractères des plantes précédentes, mais offrait, comme il vient d'être dit de B-1, les caractères des hybrides de *Virginiana* et *Chiloensis.* Comme B-1, cette plante provenait donc d'une hybridation naturelle. Elle existe encore et me donne chaque année une abondante récolte de fruits qui ne diffèrent

Digitized by Google

en rien, ni pour les caractères extérieurs ni pour la saveur, des variétés dites américaines ou anglaises dont elle sort par son père. Les étamines sont normales et les anthères pourvues d'un pollen jaune abondant.

---

### *B.* — Reproduction du type spécifique maternel.

On vient de voir que dans quelques cas rares il se produit par l'hybridation, entre certaines espèces de Fraisiers, des plantes hybrides parfaitement normales pour la vigueur et la fertilité, qui reproduisent intégralement et uniquement le type spécifique (ou hybride, pour les cas où le père était un hybride de *Virginiana* et *Chiloensis*) paternel, à l'exclusion de tout caractère maternel. — L'inverse a lieu également, et même si fréquemment qu'on peut dire qu'il est la règle chez les espèces de Fraisiers dont je parle. Seuls, en effet, jusqu'ici, les Fr. *Virginiana, Chiloensis* et peut-être aussi *Grayana* semblent engendrer en se croisant des hybrides chez lesquels les caractères paternels et maternels sont mélangés. Plus de neuf fois sur dix, dans les hybridations des espèces européennes avec les américaines, de certaines américaines entre elles, des *Vesca* et *Elatior* ensemble, lorsqu'il y a fécondation et production de graines, les plantes qui sortent de celles-ci reproduisent le type maternel complètement, à l'exclusion absolue de tout caractère paternel. Ces hybrides présentent presque toujours une vigueur et une fécondité parfaitement normales.

On a vu déjà des exemples nombreux du cas dont je parle dans ce qui précède. En effet, dans l'exemple 1, sur quatre hybrides, tandis que trois reproduisaient le type du père, un reproduisait celui de la mère, avec cette variante sans importance que les fruits au lieu d'être blancs étaient rouges.

Dans l'exemple 2, donné plus haut, parmi quinze hybrides produits, on en voit quatorze qui ressemblent exclusivement à la mère, pour un seul qui reproduit exactement le type pa-

Digitized by Google

ternel. Sur quarante et un semis des hybrides à type maternel, quarante reproduisirent exactement ce type; le seul semis qui présentât le type paternel peut être attribué à une nouvelle hybridation.

L'exemple 4 montre que sur vingt-quatre hybrides, vingt-trois étaient complètement identiques à la mère, contre un seul qui reproduisait le type paternel. Parmi les vingt-trois premiers, quatre seulement ne différaient de la mère que par la couleur des fruits, qui étaient blancs au lieu d'être rouges. Mais c'est là une variation fréquente chez les *Vesca* et sans importance.

Je citerai encore quelques exemples dans lesquels *tous* les produits d'une hybridation ont reproduit exactement le type spécifique maternel, sans mélange d'aucun des caractères du type paternel.

**Exemple 7.**

Hybridation n° 1 (1883) : *Belle-Bordelaise* × *Gaillon rouge*. — Obtenu trois hybrides reproduisant le type maternel sans mélange des caractères de *Vesca*, de vigueur et fertilité normales.

**Exemple 8.**

Hybridation n° 2 (1884) : *Black-Hautbois* × *Docteur-Nicaise*. — Obtenu huit hybrides reproduisant exactement le type spécifique maternel sans le moindre caractère paternel, de vigueur et fertilité normales.

Semé les graines de quatre individus différents (semis I, K, M, S); obtenu dix-neuf plantes exactement du même type que les plantes-mères, de vigueur et fertilité normales, et sans traces des caractères du *Docteur-Nicaise*.

**Exemple 9.**

Hybridation n° 3 (1884) : *Black-Hautbois* × *Chili velu*. — Obtenu huit hybrides reproduisant exactement le type spéci-

Digitized by Google

fique maternel sans le moindre caractère paternel; de vigueur et fertilité normales. — Une de ces plantes (3-8) a des fruits qui dépassent de moitié la longueur de ceux du *Black-Hautbois,* mais sans augmentation d'épaisseur et sans variation dans le goût.

Semé les graines (semis T) de quelques-uns de ces hybrides ayant fleuri librement. Obtenu seize plantes exactement du même type spécifique que les plantes-mères, vigoureuses, fertiles, à fruits de grosseur, couleur et forme normales, mais un peu irréguliers.

**Exemple 10.**

Hybridation n° 4 (1884) : *Black-Hautbois* × *Gaillon rouge.* — Obtenu dix hybrides reproduisant exactement le type spécifique maternel, sans le moindre caractère paternel, de vigueur et de fertilité normales. Une de ces plantes (4-5) a un fruit qui dépasse de moitié en longueur le fruit du *Black-Hautbois,* sans augmentation dans son épaisseur. Semé les graines de 4-2, 4-5, 4-7, 4-9 (semis A, B, E, H, P), qui avaient fleuri librement, et obtenu cinquante-six plantes qui, sauf les deux cas de fécondation étrangères déjà signalés (A-13 et B-1), ne reproduisirent que le type maternel pur de tout mélange.

Dans un autre semis (Z) fait avec un fruit de l'hybride 4-5 *qui avait fleuri sous gaze,* j'obtins deux plantes un peu chétives, dont une seule est arrivée à son développement complet. Je la possède encore. Elle est de vigueur moyenne, et présente dans toutes ses parties, fleur et fruit compris, les caractères de l'espèce paternelle *(Vesca),* sans mélange d'autres caractères. ***Ce cas est jusqu'ici, pour moi, le seul exemple certain du retour spontané d'un hybride de fraisier au type d'une des espèces qui le composent.*** Dans l'espèce, le retour s'est fait du côté paternel, et il est complet dès la première génération.

**Exemple 11.**

Hybridation n° 13 (1886) : *Black-Hautbois* × *Docteur-Ni-*




Digitized by Google

*caise.* — Obtenu trois hybrides reproduisant exactement le type spécifique maternel, sans le moindre caractère paternel, de vigueur et fertilité normales.

Exemple 12.

Hybridation n° 14 (1888): *Fr. elatior* (type sauvage) × *Ananas.* — Obtenu neuf hybrides reproduisant le type maternel d'une façon exacte, sans mélange d'autres caractères. Plantes de vigueur et fertilité normales.

Exemple 13.

Hybridation n° 17 (1888): *Fr. elatior* (type) × *Virginiana* (type). — Obtenu neuf hybrides qui reproduisent le type maternel sans mélange de caractères étrangers. Vigueur et fertilité normales. Sur ces neuf plantes, six qui ont les étamines développées semblent à fleurs hermaphrodites, mais sont mâles et stériles par conséquent. Les trois autres, qui ont les étamines atrophiées sont seules fertiles et, par conséquent, à fleurs femelles.

En 1893, j'ai semé les graines de deux de ces derniers hybrides, 17-8 et 9 (semis AZ et BA). Il est né soixante-douze plantes qui n'ont encore ni fleuri ni fructifié, mais leurs caractères de végétation dénotent d'une façon certaine à mon sens des *Elatior* purs.

Exemple 14.

Hybridation n° 20 (1888): *Fr. vesca* (type) × *Elatior* (type). — Obtenu cinq hybrides très vigoureux et fructifères, qui sont des *Vesca* purs à fruits rouges. — En 1891, je semai des graines de deux de ces plantes 20-4 (semis AH) et 20-5 (semis AF). De A F, j'ai conservé onze plantes et quatorze de A H. Toutes ces plantes sont des *Vesca* purs à fruits rouges. Elles fleurissent et fructifient toute la belle saison et sont d'une vigueur remarquable.

Exemple 15.

Hybridation n° 23 (1888): *Fraisiers des Alpes* × *Fr. elatior*

Digitized by Google

(type). — Obtenu trois hybrides très vigoureux et fertiles qui sont des *Vesca* purs. Deux sont à fruits rouges, un (23-1) à fruits blancs.

En 1893 j'ai semé en deux lots, à part, des graines de l'hybride 23-1 à fruits blancs (semis AP) et des deux hybrides à fruits rouges 23-2 et 3 (semis AS). J'ai conservé vingt-quatre plantes du premier semis et vingt du second. Elles n'ont encore ni fleuri ni fructifié, mais l'ensemble des caractères de végétation dénote des *Vesca* purs.

**Exemple 16.**

Hybridation n° 25 (1888): Hybride 11-3 × *Fr. elatior* (type). — Obtenu deux hybrides vigoureux détruits par accident à leur deuxième année de végétation, qui ne différaient en rien de saillant du type maternel (11-3).

**Exemple 17.**

Hybridation n° 35 (1891) : *Docteur-Nicaise* × *Fr. vesca.* — Obtenu quatre hybrides qui n'offrent pas d'autres caractères que ceux de la mère. Fleurs et fruits non encore observés.

**Exemple 18.**

Hybridation n° 39 (1891) : *Fr. vesca* × *Virginiana.* — Obtenu un seul hybride qui n'a pas encore fleuri, mais dont les organes végétatifs appartiennent exclusivement au type *Vesca.*

**Exemple 19.**

Hybridation n° 45 (1891) : *Fr. californica* × *Docteur-Nicaise.* — Obtenu neuf hybrides qui reproduisent intégralement le type *Californica* tant pour les organes de végétation que pour les fleurs et les fruits, sans apparence des caractères du père.

**Exemple 20.**

Hybridation n° 46 (1891) : *Fr. vesca* × *Californica.* — Obtenu six hybrides qui ont fructifié d'une manière normale et ne montrent aucun caractère étranger au type maternel.

En résumé, dans ces quatorze dernières hybridations variées

Digitized by Google

(exemples 7 à 20), sur soixante-seize hybrides produits, aucun ne présentait d'autres caractères spécifiques que ceux du type maternel. Ces hybrides ont montré une végétation et une fructification normales.

Sur deux cent vingt-quatre plantes issues de ces hybrides, sauf deux cas déjà signalés (A-13 et B-1, voir exemples 5, 6 et 10), où il y a eu d'une façon certaine apport de pollen étranger, les semis ont toujours reproduit exactement le type spécifique maternel de l'hybride, sauf une fois (semis Z, exemple 10) où le type paternel a reparu sans modification.

Je dois dire toutefois que si, dans les cas dont je parle, l'hybridation n'exerce aucune action essentielle sur la reproduction du type maternel, elle laisse cependant quelquefois, dans la physionomie des hybrides, quelques traces de son action. Il n'est guère possible de constater ces dernières sans une comparaison des plus attentives de la mère avec les hybrides. On voit alors assez fréquemment, surtout dans les hybrides où le type *Elatior* a joué le rôle de mère, des modifications légères dans la teinte des feuilles, dans le port de la plante, dans sa vigueur. Les feuilles des hybrides dont je parle se montrent quelquefois appliquées au sol au lieu d'être dressées; les pétioles en sont plus courts, les folioles convexes en dessus au lieu d'être concaves ou étalées; enfin elles ont quelquefois les bords comme recroquevillés en dessous. Ces anomalies s'accusent souvent davantage dans les semis de ces hybrides. Il arrive plus rarement que les hybrides ont peu de disposition à fleurir. Je crois en avoir vu deux à trois, sur un demi-millier environ que j'ai produits, qui à l'âge de trois ans n'avaient encore montré ni fleurs ni fruits. Tandis qu'à l'état sauvage on ne trouve dans l'espèce *Elatior* que des individus mâles ou femelles, dans les hybrides où cette espèce a joué le rôle de mère, on rencontre fréquemment des sujets à fleurs hermaphrodites. J'ai obtenu deux plantes (semis B, exemple 5) à feuilles panachées de jaune, et une (semis AL, exemple 1) où les folioles, au lieu d'être ternées, étaient au nombre de cinq.

Digitized by Google

Enfin, le changement de la couleur typique rouge en blanc-jaunâtre obtenu cinq fois dans les fruits de *Vesca* (exemples 3 et 5) me paraît être une modification du même genre que celles dont il vient d'être question. Ce ne sont là que des variations tératologiques que l'on sait fréquentes chez les hybrides, variations superficielles qui ne font qu'effleurer les types spécifiques composants de ces derniers.

Il sera intéressant de noter encore que dans aucun des hybrides dont il vient d'être question, les fruits n'offrent une saveur intermédiaire à celle des deux parents : ils n'ont jamais que celle qui est particulière à l'espèce à laquelle ils appartiennent.

On pourra me demander si le genre d'hybridation dont il est ici question, réussit facilement ou non.

D'une manière générale, il réussit assez difficilement ; c'est-à-dire que la plupart du temps, sur quatre à six fleurs castrées et fécondées, une à trois seulement produisent des fruits dans lesquels les achaines sont rares. Assez fréquemment, les fleurs se dessèchent sans produire rien. Voici, au reste, la liste des hybridations qui ne m'ont jamais réussi, bien que la plupart aient été tentées à deux ou même trois reprises différentes :

| | | |
|---|---|---|
| *Gaillon rouge* | × | *Docteur-Nicaise.* |
| — | × | *Chili velu.* |
| — | × | *Globe.* |
| *Fr. vesca* (type) | × | *Docteur-Nicaise.* |
| — | × | *Ananas.* |
| — | × | *Fr. chiloensis* (type). |
| Hybride 11 | × | *Fraisier des Alpes.* |
| — 10 | × | *Gaillon rouge.* |
| — 10-6 | × | 10-4. |
| *Fr. virginiana* (type) | × | *Fr. vesca* (type). |
| *Ananas* | × | — |
| *Fr. Grayana* | × | *Fr. vesca* (type). |
| *Fr. chiloensis* (type) | × | — |

Digitized by Google

Les faux hybrides ayant habituellement une certaine quantité de leur pollen bien conformé peuvent opérer la fécondation de certaines espèces et même celle d'espèces qui n'entrent pas dans leur composition. Mais je dois attendre des données plus complètes pour traiter cette question avec quelque compétence.

J'ajouterai que si les espèces et variétés mentionnées plus haut semblent, dans les combinaisons indiquées, n'engendrer que de faux hybrides, quelques espèces, dans des combinaisons données, en produisent de vrais. Tels sont les hybrides provenant de la fécondation du ***Fr. grayana*** par le ***Fr. virginiana***, et surtout ceux produits entre cette dernière espèce et le ***Fr. chiloensis***. C'est en effet de cette dernière combinaison que sont sorties toutes les fraises dites anglaises ou américaines (suivant la nomenclature du comte de Lambertye). Mais ici encore il est probable qu'une observation attentive fera reconnaître que tous ces hybrides, bien qu'ils offrent à la fois les principaux caractères des espèces composantes, sont le plus souvent beaucoup plus rapprochés de l'une que de l'autre.

La fausse hybridation n'est pas particulière au genre fraisier : je l'ai constatée également dans les *Vitis* et ***Rubus***. Mais ce n'est pas avant quelque temps que je serai en mesure de publier mes observations sur ces deux derniers genres.

## II

J'espère avoir établi par ce qui précède que l'hybridation, contrairement à ce qu'on a cru jusqu'ici, n'est pas toujours accompagnée, dans l'hybride produit, d'un croisement et d'une modification des caractères spécifiques des deux espèces qui ont réagi l'une sur l'autre, mais qu'elle peut donner naissance à des individus sinon absolument identiques au père ou à la mère, du moins reproduisant d'une manière complète les types spécifiques de l'un ou de l'autre. Ce nouveau genre d'hybrides

Digitized by Google

manque donc du caractère essentiel des hybrides qui est la réunion plus ou moins complète, dans un individu, et la modification des caractères de chacune des deux espèces composantes. Pour distinguer ces hybrides des hybrides normaux, on pourra se servir du terme de *faux hybrides*, et, pour désigner l'opération dont ils sont le résultat, employer le mot de *fausse hybridation* ou *pseudo hybridation*. On pourrait aussi désigner ce nouveau genre d'hybrides sous le nom d'*hybrides sans croisement*, et ces hybridations sous celui d'*hybridations sans croisement*.

C'est la première fois, à ma connaissance, que ce fait est établi d'une façon positive, mais il a été entrevu déjà par plusieurs observateurs. On trouve, en effet, dans les expériences de Gärtner (1), quelques cas où, à la suite d'hybridations, les individus produits par cette dernière se trouvèrent entièrement semblables à la mère. Dans ces cas, Gärtner n'osa jamais affirmer leur nature hybride, et attribua leur production à des négligences dans la castration des fleurs ou dans l'isolement des plantes *(Afterbefruchtung)*. D'après M. Focke (2), des faits du même genre auraient été également observés par Herbert et Parkmann, dans les genres *Hymenocallis*, *Lilium* et *Bilbergia*. Mais si on avait signalé quelquefois la reproduction intégrale du type maternel dans l'hybridation, celle du type paternel avait échappé à tous les observateurs, et c'est sans doute la raison principale pour laquelle la fausse hybridation a été jusqu'ici complètement méconnue. M. Focke, à la page citée, émet l'hypothèse que, dans les cas où les hybrides reproduisent exactement le type maternel, il n'y a pas eu fécondation des ovules dont ils sont sortis, mais qu'ils s'y sont formés par parthénogénèse, sous l'influence de l'excitation produite par le pollen étranger, et il propose pour ce phénomène le nom de *Pseudogamie*.

---

(1) *Op. cit.*, passim.
(2) Wilhelm Olbers Focke. — *Die Pflanzenmischlinge*, p. 526. Berlin, Borntraeger, 1881.


Digitized by Google

Dans les métis, au contraire, des faits de ce genre sont connus : on en trouvera un certain nombre mentionnés dans Darwin (1). Je citerai, d'après lui, les croisements des tourterelles blanches et grises, des souris blanches et grises, dont les produits ne sont jamais que tout blancs ou tout gris, sans mélange des deux couleurs ou de taches des deux couleurs sur le même individu. De même lorsqu'on croise les chiens bassets avec les autres races, les produits ne sont pas intermédiaires, mais tiennent exclusivement de l'un ou de l'autre parent. Pour les plantes, quelques faits analogues sont également signalés dans le même ouvrage. Je n'en relèverai qu'un seul, dont la connaissance est due à Darwin lui-même : — « J'ai croisé, dit-il, le muflier *(Antirrhinum majus)* pélorique, en le fécondant par du pollen de la forme ordinaire, et réciproquement ce dernier par la forme pélorique, et pas une des plantes (au nombre de quatre-vingt-dix au minimum) levées des deux semis ne fut affectée de pélorie... On ne peut pas attribuer la disparition complète de la pélorie dans ces fleurs croisées à un défaut de la puissance de transmission, car, ayant levé de semis une grande quantité de plantes de l'*Antirrhinum* pélorique, fécondé par son propre pollen, seize d'entre elles, qui seules passèrent l'hiver, furent entièrement péloriques comme la plante-mère... Les plantes croisées semblables au muflier ordinaire se semèrent d'elles-mêmes, et sur cent vingt-sept qui levèrent, quatre-vingt-huit donnèrent le muflier commun; deux se trouvèrent intermédiaires aux formes normale et pélorique, et trente-sept, entièrement péloriques, avaient donc fait retour à la conformation d'un des grands parents (2). »

Quand on est un peu au courant des phénomènes si variés de l'hybridation, on peut dire hardiment qu'il n'y a, même

(1) Darwin, *De la variation des animaux et des plantes.* Traduction Moulinié, 1868, tome II, p. 70, 99 et suivantes.

(2) Darwin, *op. cit.*, p. 75.


Digitized by Google

*a priori,* dans les faits nouveaux que je viens de signaler, malgré leur étrangeté, rien d'impossible. Je dirai plus : la fausse hybridation devait être prévue. Elle n'est, à vrai dire, que le terme extrême d'une série de faits parfaitement constatés. Si dans le plus grand nombre des cas, en effet, les hybrides sont sensiblement intermédiaires à leurs parents, très souvent ils se rapprochent beaucoup plus de l'un que de l'autre, tantôt du père, tantôt de la mère, suivant les cas. Dans quelques occasions très rares, on a vu (Gärtner, Naudin) des hybrides ressembler tellement soit au père, soit à la mère, qu'ils ne pouvaient guère être distingués de ces derniers que par des caractères accessoires (déformations diverses, pollen à puissance plus ou moins imparfaite, etc.). Comme exemple de l'absorption presque complète des caractères du père par la mère, je citerai notamment, d'après Gärtner, les hybrides de *Nicotiana vincæflora* × *paniculata,* de *N. Langsdorfii* × *suaveolens,* de *N. Langsdorfii* × *vincæflora,* dans lesquels il y avait tellement de ressemblance avec l'espèce qui avait fonctionné comme mère « qu'on aurait eu toutes raisons de douter de la nature hybride de ces plantes, si on s'en était rapporté uniquement à leur apparence extérieure. Mais leur stérilité absolue était la preuve de leur nature hybride (1). »

De son côté, M. Naudin ayant fécondé le *Datura Stramonium* par le *ceratocaula,* obtint deux plantes fertiles ne différant de la mère que par taille. Les graines de ces hybrides reproduisirent des *Stramonium* normaux (2).

Comme exemple d'absorption des caractères maternels par le père, je citerai, d'après ce dernier auteur, la fécondation du *Datura lævis* par le *Stramonium.* Les quarante plantes qui sortirent de cette hybridation ne se distinguaient du père que par leur plus grande taille, des irrégularités de floraison et une diminution des épines sur un certain nombre de fruits. — Sur

(1) Gärtner, *op. cit.*, p. 259.
(2) Naudin, *Sur l'hybridité dans les végétaux* (*Nouvelles Archiv. du Muséum*, I, 1865, p. 47).


Digitized by Google

quatre individus provenant de graines de ces plantes qui s'étaient fécondées entre elles, trois ressemblèrent surtout au père, un surtout à la mère (1).

Un pas de plus et nous arrivons, comme on le voit, à la fausse hybridation.

## III

Il ne peut être question, dans l'état actuel de la science, de donner l'explication des faits que nous offrent l'hybridation normale aussi bien que la fausse hybridation; cependant l'analogie et le raisonnement peuvent jeter un peu de lumière sur leur obscurité. On me permettra donc quelques réflexions.

L'hybridation, comme la fécondation normale, résulte de la fusion de deux cellules, l'une mâle et l'autre femelle. Chez les végétaux, cette fusion est complète, c'est-à-dire que les deux cellules concourent tout entières, intégralement, sans rien perdre auparavant de leur substance, à la formation de l'embryon. Si donc celui-ci ressemble davantage ou même exclusivement par la suite à un de ses parents, cela ne tient pas à ce que la cellule mâle ou femelle qui représente l'autre parent aurait perdu une partie plus ou moins importante de sa substance avant la fécondation. Cela ne peut tenir qu'à ce fait que, par l'acte même de la fécondation, certaines parties importantes de la cellule mâle ou femelle ont été neutralisées, peut-être annihilées par la cellule adverse, comme deux substances chimiques qui se précipitent mutuellement.

La cellule mâle et la femelle contiennent évidemment, en puissance, les caractères génériques comme les spécifiques. Dans les hybrides normaux comme dans les faux hybrides, les caractères génériques, plus stables, probablement parce qu'ils sont plus anciens, se retrouvent intégralement. Il n'en est pas de même des caractères spécifiques : ils interfèrent toujours

(1) *Ibid.*, p. 49 et 50.

Digitized by Google

plus ou moins les uns avec les autres, et cette interférence peut amener la prédominance et même la disparition complète d'un des deux types spécifiques, du moins à la première génération.

Cette disparition peut-elle être définitive? C'est probable, puisque, dans les expériences que je viens de rapporter, sur plus de six cents semis, un seul (semis Z), d'une manière certaine, a reproduit le type qui avait disparu dans l'hybride. Il est donc à présumer que si les caractères de l'espèce absorbée sont quelquefois, chez les faux hybrides, simplement à l'état latent, ils peuvent aussi disparaître sans retour. Toutefois, pour pouvoir présenter cette dernière conclusion d'une manière tout à fait certaine, je reconnais qu'il faudrait des expériences plus répétées, des semis plus nombreux que ceux que j'ai faits, et surtout des fécondations avec du pollen d'hybrides, car c'est par la fécondation surtout que les caractères latents reviennent au jour.

On sait que sauf une demi-douzaine environ de cas bien constatés dans lesquels les hybrides normaux fécondés entre eux se reproduisent sans changement (*Ægilops speltæformis* par exemple), constituant ainsi de véritables espèces nouvelles, les hybrides reviennent toujours plus ou moins rapidement à leurs types spécifiques composants. Comment se fait ce retour?

Dans mon opinion, l'explication du mécanisme de ce phénomène a été donnée par M. Naudin dans le Mémoire cité plus haut. Mais comme son hypothèse ne reposait que sur des faits très généraux, elle n'a pas reçu l'attention qu'elle méritait. J'y reviendrai en terminant, car je suis heureusement à même de l'étayer de faits plus précis et plus prochains que ceux qu'il a lui-même invoqués en sa faveur.

M. Naudin a fait remarquer que si les hybrides tiennent à la fois, dans leur ensemble, du père et de la mère, les caractères de ces derniers, au lieu d'être combinés, superposés si l'on aime mieux, sont souvent simplement juxtaposés. Cette juxta-

Digitized by Google

position peut avoir lieu dans tous les organes; c'est peut-être dans ceux qui se forment en dernier lieu, les fleurs et les fruits, qu'elle est la plus fréquente. Ainsi, ayant fécondé un *Mirabilis jalapa* à fleurs pourpres par le *M. longiflora* à fleurs blanches, il obtint un hybride dans lequel il y avait des fleurs complètement blanches, d'autres complètement pourpres, tandis que le plus grand nombre était non d'un pourpre plus clair que celui de la mère, mais panaché de blanc et de poupre. Les stries blanches ou pourpres étaient quelquefois de grandes dimensions, souvent d'un millimètre carré seulement de surface. Le stigmate était quelquefois mi-partie blanc et pourpre (1).

Dans l'hybride du *Datura lævis* × *Stramonium* dont il a été question plus haut, la grande majorité des capsules étaient couvertes d'aiguillons et complètement ou presque complètement semblables à celles du *Stramonium*. Mais chez trois de ces hybrides, beaucoup de fruits « très épineux sur une partie de leur surface, étaient totalement lisses et inermes sur le reste, réunissant ainsi, par compartiments distincts et nettement séparés, les traits les plus différentiels des deux espèces productrices (2) ».

Des hybrides de *Linaria vulgaris* (à fleurs jaunes) et *purpurea* (à fleurs pourpres) donnèrent des fleurs dans lesquelles ces deux colorations ne furent jamais combinées, mais, comme dans les hybrides de *Mirabilis*, simplement juxtaposées.

L'auteur désigne cette sorte d'hybridité sous le nom d'*hybridité disjointe*, et tire de son travail les conclusions suivantes, que je reproduis textuellement :

« Dans mon hypothèse, l'hybride serait une mosaïque vivante dont l'œil ne distingue pas les éléments discordants tant qu'ils restent entremêlés; mais si, par suite de leurs affinités, les éléments de même espèce se rapprochent, s'agglomèrent en masses un peu considérables, il pourra en résulter

(1) *Op. cit.*, p. 33 et figures.
(2) *Ibid.*, p. 49.



des parties discernables à l'œil, quelquefois des organes entiers, ainsi que nous le voyons dans le *Cytisus Adami,* les orangers et les citronniers hybrides du groupe des *bizarreries,* le *Datura lævis* × *Stramonium*, etc. (1). »

« Bien que les faits ne soient pas encore assez nombreux pour conclure avec certitude, il semble que la tendance des espèces à se séparer, ou, si l'on veut, à se *localiser* dans des parties différentes de l'hybride, s'accroît avec l'âge de la plante et qu'elle se prononce de plus en plus, à mesure que la végétation s'approche de son terme, qui est d'une part la production du pollen, de l'autre la formation de la graine. C'est effectivement aux sommités organiques des hybrides, au voisinage des organes de la reproduction, que ces disjonctions deviennent plus manifestes : dans le *Cytisus Adami,* la disjonction se fait sur des rameaux fleuris; elle se fait sur le fruit lui-même dans l'*Orange-bizarrerie* et le *Datura Stramonio-lævis;* dans le *Mirabilis longifloro-Jalapa* et le *Linaria purpurea,* c'est la corolle qui manifeste le phénomène de la disjonction par la séparation des couleurs propres aux espèces productrices. Ces faits autorisent à penser que le pollen et les ovules, le pollen surtout, qui est le terme extrême de la floraison mâle, sont précisément les parties de la plante où la disjonction spécifique se fait avec le plus d'énergie; et ce qui ajoute un degré de plus de probabilité à cette hypothèse, c'est que ce sont en même temps des organes très élaborés et très petits, double raison pour rendre plus parfaite la localisation des deux essences. Cette hypothèse admise, et j'avoue qu'elle me paraît extrêmement probable, tous les changements qui surviennent dans les hybrides de deuxième génération et de générations plus avancées s'expliquent, pour ainsi dire, d'eux-mêmes; ils seraient au contraire inexplicables, si on ne l'admettait pas. »

« Supposons, dans la Linaire hybride de première génération, que la disjonction se soit faite à la fois dans l'anthère et dans

(1) *Ibid.*, p. 151.

Digitized by Google

le contenu de l'ovaire, que des grains de pollen appartiennent totalement à l'espèce du père, d'autres totalement à l'espèce de la mère, que dans d'autres grains la disjonction soit nulle ou seulement commencée; admettons encore que les ovules soient, au même degré, disjoints dans le sens du père et dans le sens de la mère; qu'arrivera-t-il lorsque les tubes polliniques descendront dans l'ovaire et iront chercher les ovules pour les féconder? Si le tube d'un grain de pollen revenu à l'espèce du père rencontre un ovule disjoint dans le même sens, il se produira une fécondation *parfaitement légitime*, dont le résultat sera une plante *entièrement retournée à l'espèce paternelle;* la même combinaison s'effectuant entre un grain de pollen et un ovule disjoints tous deux dans le sens de la mère de l'hybride, le produit rentrera de même dans l'espèce de cette dernière; qu'au contraire, la combinaison s'effectue entre un ovule et un grain de pollen disjoints en sens contraire l'un de l'autre, il s'opérera une véritable *fécondation croisée*, comme celle qui a donné naissance à l'hybride lui-même, et il en résultera encore une forme intermédiaire entre les deux types spécifiques. La fécondation d'un ovule non disjoint par un grain de pollen disjoint dans un sens ou dans l'autre donnera un hybride quarteron, et comme les disjonctions, tant dans le pollen que dans les ovules, peuvent se faire à tous les degrés, il résultera des combinaisons qui pourront avoir lieu, et que le hasard seul dirige, cette multitude de formes que nous avons vues se produire dans les Linaires hybrides et les Pétunias, dès la deuxième génération (1). »

En effet, si, comme le dit l'auteur, la localisation des caractères spécifiques de l'un ou l'autre parent pouvait se faire dans les deux cellules sexuelles, le mécanisme des phénomènes de retour aux types composants des hybrides serait expliqué. Mais cette localisation a-t-elle lieu? Jusqu'ici on a bien vu dans les hybrides de *Mirabilis* un stigmate mi-partie rouge *(M. Jalapa)* et blanc *(M. longiflora)*; dans ceux de *Datura*, une partie de

(1) *Ibid.*, p. 152 et 153.


Digitized by Google

la capsule épineuse *(D. Stramonium)*, l'autre lisse *(D. lævis)*; dans les fleurs des hybrides de *Linaria* et de *Mirabilis*, des taches juxtaposées des couleurs différentes appartenant l'une au père, l'autre à la mère, mais ce sont là non des cellules isolées, mais des centaines et des milliers de cellules. Ne faudrait-il pas prouver que la localisation des caractères du père et de la mère peut se faire, non dans des masses cellulaires, mais dans des cellules prises isolément? Cela semble nécessaire, car la cellule mâle et l'œuf sont bien des cellules isolées et indépendantes.

L'observation suivante me semble remplir ce *desideratum*.

Dans mon *Histoire des vignes américaines*, j'ai fait remarquer qu'il est possible de reconnaître la nature de certains hybrides de vignes à la structure de l'épiderme inférieur des feuilles. L'exemple le plus net peut-être de ce fait m'a été fourni par le *York-Madeira*, cépage provenant du croisement spontané des *Vitis æstivalis* et *labrusca* (1). Dans ces deux espèces, les stomates des feuilles ont des formes très différentes. Chez le *V. æstivalis*, ils sont encastrés, à une profondeur notable, au-dessous du niveau extérieur de l'épiderme, entre les cellules péristomatiques; au contraire, chez le *V. labrusca*, ils sont situés au sommet de petits dômes formés par ces dernières cellules, de façon qu'ils forment une saillie considérable relativement, au-dessous du niveau de la feuille. Or, on trouve, dans le *York-Madeira*, un certain nombre de stomates plus ou moins intermédiaires à ces deux types et, à côté de ceux-ci, des stomates purs d'*Æstivalis* et de *Labrusca*. Toutes ces variétés de stomates, les stomates purs de *Labrusca*, ceux d'*Æstivalis*, et les nombreuses formes plus ou moins intermédiaires à ces deux types se trouvent presque en contact immédiat, dans un cinquième ou un dixième de millimètre carré de la feuille. Comme chaque paire de cellules ostiolaires qui constitue le stomate dérive d'une cellule-mère, on est en droit de dire que, dans l'hybride dont il est question, l'épiderme

(1) *Op. cit.*, p. 46.

Digitized by Google

inférieur des feuilles est constitué par des cellules semblables à celles du type paternel, des cellules semblables à celles du type maternel, des cellules intermédiaires à ces deux types et enfin des cellules qui tiennent des deux types, mais dans

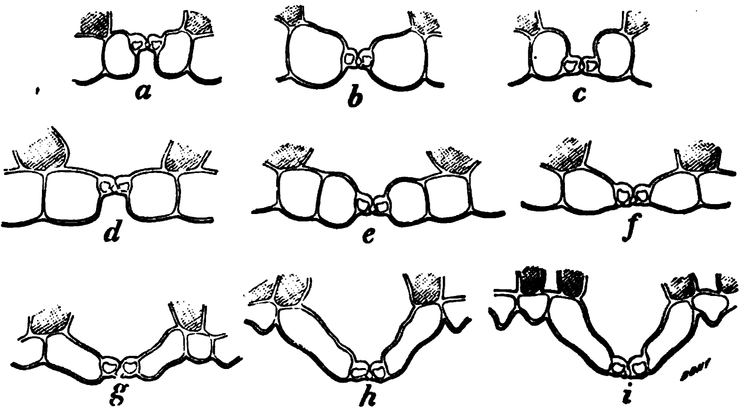



FIGURE. — *a, b, c*, stomates de *V. æstivalis*. — *d, e, f, g, h*, stomates du *York-Madeira*. *i*, stomate de *V. labrusca*.

lesquelles c'est tantôt l'un, tantôt l'autre qui domine. C'est bien là, il me semble, l'image de la nature du pollen et des oosphères des hybrides vrais, dans l'hypothèse ingénieuse de M. Naudin, et cette observation me semble confirmer cette dernière d'une manière indirecte, il est vrai, mais néanmoins tout à fait positive.

J'ajouterai, et c'est par là que je termine, que la manière dont se comportent les faux hybrides est également une confirmation de cette même hypothèse. Chez ces derniers, en effet, il n'y a pas mélange des caractères des deux espèces composantes; la mosaïque dont nous parlions plus haut n'est visible dans aucun organe, et vraisemblablement elle n'existe pas davantage dans le pollen et les oosphères que dans les autres parties de la plante; aussi ces faux hybrides reproduisent, dans l'immense majorité des cas, leur type spécifique propre, celui du père s'ils ressemblent au père, celui de la mère s'ils ressemblent à cette dernière.

Digitized by Google

# EXPÉRIENCES

SUR LA

# PASTEURISATION DES VINS DE LA GIRONDE

PAR M. U. GAYON,

PROFESSEUR DE CHIMIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES,
DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE.

---

Les vins ne s'améliorent pas toujours avec l'âge; malgré les soins qu'on leur prodigue, ils subissent quelquefois des altérations graves et perdent leurs qualités essentielles. On dit alors que les vins sont « malades ». M. Pasteur a démontré que toutes ces maladies (piqûre, graisse, pousse, tourne, amertume, etc.), en apparence spontanées, sont toujours corrélatives de la multiplication d'organismes microscopiques ou « microbes », que les germes de ces êtres vivants existent dans le vin, et qu'ils éclosent et se développent quand les circonstances deviennent favorables.

Dans un vin de constitution robuste et maintenu à température basse, les germes ne peuvent évoluer; ils tombent lentement dans les lies, d'où ils s'éliminent peu à peu aux soutirages successifs. Le vieillissement se poursuit alors dans des conditions normales, sans accidents, sous l'action lente et progressive de l'oxygène de l'air.

Toutes les pratiques habituelles de la vinification ont précisément pour résultat, non seulement de rendre le vin plus limpide et plus fin, mais encore d'accroître sa résistance aux germes parasites et de faciliter sa conservation.

Ainsi, par les ouillages fréquents, qui maintiennent le plein des tonneaux, et par les méchages au soufre, qui transforment



Digitized by Google

l'oxygène superficiel en acide sulfureux, on empêche le développement du *mycoderma vini* ou « fleurs du vin », et du *mycoderma aceti* ou ferment de « l'acescence ».

Par les soutirages et les fouettages qui, aérant fortement le vin, le saturent momentanément d'oxygène, on paralyse les germes de la « tourne » et de « l'amer », qui ne peuvent vivre au contact de l'air, et qu'on appelle pour cette raison « anaérobies ».

Par les collages enfin, et par le repos, on précipite tous ces germes dans les lies, avec les autres matières en suspension.

Les lies sont, en définitive, le réceptacle commun des levures usées et des mauvais ferments; aussi importe-t-il qu'elles ne puissent jamais remonter dans le tonneau et qu'elles soient séparées avee le plus grand soin du vin limpide qui les surnage. Pour la même raison, les tonneaux doivent être placés dans des caves fraîches, à température constante, afin que le liquide soit en équilibre permanent; les soutirages ne doivent être effectués que par les temps froids, lorsque la pression barométrique est élevée et maintient les gaz en dissolution.

La plupart de ces pratiques vinicoles perdraient de leur importance, si les vins pouvaient être absolument privés de germes vivants, s'ils étaient *stérilisés*. Or, la chaleur permet d'atteindre ce but, sans nuire, comme l'a prouvé M. Pasteur, au développement des qualités naturelles du liquide.

Les bons effets de la *stérilisation* par la chaleur, ou « pasteurisation », suivant l'expression consacrée aujourd'hui par l'usage, ont été démontrés par le créateur de la microbiologie à la suite de nombreuses expériences sur des vins en bouteilles, de qualités les plus diverses, depuis les vins de coupage communs, vendus au litre à la consommation parisienne, jusqu'aux vins les plus fins de la Bourgogne (Nuits, Volnay, Chambertin, Romanée, Vougeot).

Pour permettre l'appréciation rigoureuse des résultats, une partie seulement de chaque sorte de vin avait été chauffée, et l'autre partie avait été conservée comme témoin. Des dégusta-

Digitized by Google

tions comparatives des échantillons chauffés et non chauffés ont été faites par les personnes les plus compétentes du haut commerce parisien et de la science à des dates successives, en 1865, en 1869 et en 1872, c'est-à-dire l'année même du chauffage, quatre ans et sept ans après.

La première dégustation, effectuée les 16 et 23 novembre 1865, a donné lieu à un procès-verbal dans lequel on lit (1) :

« En résumé, et tout en réservant leur opinion sur l'influence que le temps pourra avoir sur les qualités relatives des vins qu'ils ont comparés, les membres de la Commission ont constaté que cette opération (le chauffage) prévient surtout les maladies qui sont les causes de l'altération des vins, et qu'elle peut même les guérir. En ce qui concerne les différences de goût qui ont été remarquées dans les comparaisons des vins chauffés avec les mêmes vins qui ne l'avaient pas été, et qui étaient restés sains, il faut convenir qu'elles sont si faibles qu'elles échapperaient aux neuf dixièmes des consommateurs, que le temps pourrait peut-être les faire disparaître, qu'assurément l'imagination n'est pas sans avoir une très grande influence sur la dégustation, puisqu'ils s'y sont trompés eux-mêmes. »

Et encore :

« Nous ne saurions trop faire l'éloge du procédé de M. Pasteur. Il nous paraît pratique en ce qui concerne son application aux vins en bouteilles, car il est peu coûteux, et il le serait d'autant moins qu'il s'appliquerait à de plus grandes quantités. »

Les différences en faveur des vins chauffés se sont accentuées dans les dégustations ultérieures. En effet, après la seconde, qui eut lieu le 11 août 1869, la Commission conclut (2) :

« Il est impossible de nier l'immense résultat obtenu par le chauffage sur les vins en bouteilles, au point de vue de leur conservation.

(1) Pasteur, *Études sur le vin*, 2e édition, p. 169.

(2) *Loc. cit.*, p. 190.


Digitized by Google

» Le temps écoulé depuis le chauffage ne permet plus aucun doute sur son efficacité. Son effet est surtout incontestablement préventif; il détruit les germes des maladies auxquelles les vins sont généralement sujets, sans pour cela nuire au développement de leurs qualités.

» Tous les vins chauffés sont bons; il n'y a d'altération ni dans leur goût ni dans la couleur; leur limpidité est parfaite; ils sont, en conséquence, dans toutes les conditions désirables pour donner satisfaction aux consommateurs. Il n'y a rien de plus à dire, croyons-nous, pour témoigner toute notre confiance dans la valeur du procédé de M. Pasteur.

» Nous croyons ce procédé parfaitement pratique et peu coûteux, surtout si on l'applique sur de grandes quantités. »

Enfin, la dernière dégustation, faite le 10 juillet 1872, en présence de MM. Barral, Bouchardat et Dumas, membres de la Société centrale d'Agriculture de France, et de M. Porlier, sous-directeur au ministère de l'Agriculture, a pleinement confirmé les résultats positifs constatés dans les dégustations précédentes ([1]).

Il est donc acquis, par les expériences de M. Pasteur, que le chauffage, non seulement conserve les vins, mais encore qu'il les améliore, qu'il n'altère ni la couleur ni le bouquet des grands crus, qu'il ne nuit point à leur vieillissement, qu'il ne le hâte ni ne le retarde, qu'il est en outre pratique et peu coûteux.

Malgré la netteté de ces résultats, l'emploi de la pasteurisation s'est peu répandu dans certaines régions, notamment dans le Bordelais.

Les vins de la Gironde ont d'ailleurs été peu étudiés par M. Pasteur :

« Je regrette, dit-il en discutant les résultats de la première dégustation (1865), de n'avoir pas eu l'occasion d'opérer plus souvent sur les vins de Bordeaux. Mes relations avec ce centre

---

([1]) *Loc. cit.*, p. 338.

Digitized by Google

de production ont été fort restreintes. Cependant, je puis assurer, par quatre ou cinq essais sur des vins de divers âges et qualités, que le résultat est tout aussi favorable que sur les vins de l'Est et du Midi de la France (1). »

Et à l'occasion de la dernière dégustation (1872) :

« Je termine, dit-il, en regrettant de n'avoir pas opéré sur les vins fins de la Gironde. Je savais qu'ils étaient en général de bonne conservation, et j'avais peu de relations avec ce grand centre de production ; mais aujourd'hui qu'on peut être conduit à chauffer les vins dans le seul but de les améliorer, il y a un grand intérêt à ce que je renouvelle mes essais sur les vins même les plus robustes (2). »

Il y avait donc, de l'avis même de M. Pasteur, un « grand intérêt » à soumettre les vins de la Gironde à des expériences de pasteurisation, tant pour savoir si leurs qualités, comme il arrive pour les vins fins de la Bourgogne, ne sont pas modifiées par le chauffage, que pour démontrer de nouveau l'efficacité du traitement sur les vins susceptibles de s'altérer, tels que ceux qui ont été récoltés dans ces dernières années sur les vignes mildiousées.

Un essai de chauffage a bien été tenté, en 1866, à Bordeaux, dans un chai des Chartrons ; mais, outre qu'il n'a porté que sur trois échantillons de vins communs et non sur des vins fins, il a été fait dans les plus mauvaises conditions ; la température, qui n'avait été que de 52° centigrades (3), était absolument insuffisante pour détruire les germes de maladie. On ne peut donc rien en conclure.

Depuis lors, aucune nouvelle tentative ne paraît avoir été faite pour étudier l'action de la chaleur sur les vins bordelais ; cela tient sans doute à ce que leur constitution est naturellement robuste et que, dans l'état ordinaire, ils n'ont point besoin du chauffage pour rester sains et acquérir leur maximum de qualité.

---

(1) *Loc. cit.*, p. 181.
(2) *Loc. cit.*, p. 338.
(3) R. Boireau, *Traitement pratique des vins*, 3e édition, p. 295.

Digitized by Google

Les travaux de M. Pasteur seraient probablement restés sans utilité pratique pour le département de la Gironde si une situation anormale n'était née du développement d'une maladie nouvelle de la vigne, le mildiou.

Cette maladie est due, comme on le sait, à un champignon microscopique, le *Peronospora viticola,* qui vit en parasite sur les parties vertes de la plante, spécialement sur les feuilles; en desséchant le tissu de ces organes, le cryptogame ralentit la circulation générale de la sève, empêche le raisin de mûrir et ne laisse qu'une vendange acide et peu sucrée, donnant un vin pauvre en alcool et en couleur.

Les effets du mildiou sur la qualité des raisins et des moûts sont désastreux, comme le montrent les nombres suivants obtenus comparativement pour chaque cépage avec des raisins traités et non traités, cueillis en même temps, dans la même vigne, sur des pieds de même âge (1).

*1. Malbec ou Côte-Rouge.*

| | Ceps traités. | Ceps non traités. | Différences. |
|---|---|---|---|
| Rendement en moût......... | 66,9 % | 65,3 % | 1,6 % |
| Densité du moût............ | 1080 | 1043 | 37 |
| Sucre par litre.............. | 177gr0 | 91gr8 | 85gr2 |
| Acidité par litre, en $SO^4H^2$... | 5,1 | 7,7 | —1,6 |

*2. Cabernet Sauvignon.*

| | Ceps traités. | Ceps non traités. | Différences. |
|---|---|---|---|
| Rendement en moût......... | 71,3 % | 70,4 % | 0,9 % |
| Densité du moût............ | 1075 | 1053 | 22 |
| Sucre par litre.............. | 178gr6 | 116gr2 | 62gr4 |
| Acidité par litre, en $SO^4H^2$... | 4,6 | 6,3 | —1,7 |

*3. Cabernet Franc.*

| | Ceps traités. | Ceps non traités. | Différences. |
|---|---|---|---|
| Rendement en moût......... | 71,8 % | 70,5 % | 1,3 % |
| Densité du moût............ | 1084 | 1050 | 34 |
| Sucre par litre.............. | 188gr6 | 103gr0 | 85gr6 |
| Acidité par litre, en $SO^4H^2$... | 5,6 | 7,2 | —1,6 |

(1) Millardet et Gayon, *Recherches sur les effets des divers procédés de traitement du mildiou par les composés cuivreux,* p. 11, 1887.

Digitized by Google

*4. Petit-Verdot.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rendement en moût......... | 70,8 % | 68,4 % | 2,4 % |
| Densité du moût............ | 1080 | 1037 | 43 |
| Sucre par litre.............. | 175gr0 | 39gr4 | 135gr6 |
| Acidité par litre, en $SO^4H^2$... | 7,9 | 9,3 | —1,4 |

Ces chiffres prouvent que le mildiou abaisse dans une proportion considérable la richesse saccharine du moût de raisin, et expliquent comment, depuis son apparition dans le Sud-Ouest jusqu'à la découverte des effets préventifs des composés cupriques par M. Millardet, la richesse alcoolique des vins a pu baisser, année moyenne, dans certaines régions, de près du tiers de sa valeur normale.

Aussi, de 1882 à 1886 inclus, les récoltes ont-elles généralement mal tourné, sauf dans certaines parties privilégiées, où le vin, malgré sa faible qualité, est resté sain, sans traitement spécial. Depuis 1887, la situation s'est considérablement améliorée, et les vins malades sont devenus une exception, grâce à la généralisation dans nos pays du traitement à la bouillie bordelaise; les vignes, revenues à la santé, donnent maintenant des produits abondants, bien constitués et de longue durée.

Si, pendant les années de mildiou, on ne s'est pas souvenu des travaux de M. Pasteur, et si l'on n'a pas cherché à conserver les vins menacés de maladie en ayant recours à la pasteurisation, c'est assurément parce que le public s'est mépris sur la cause véritable de l'affaiblissement progressif des récoltes. On a cru et des personnes instruites, mais peu au courant de la physiologie végétale, croient encore que le Peronospora se développe dans le vin fait; d'autres pensent que ses spores ou son mycélium, projetés dans la cuve en même temps que la vendange, abandonnent au liquide des principes solubles ou volatils capables de s'éthérifier avec le temps et d'altérer les qualités naturelles du vin.

La première hypothèse est absolument contraire aux lois de la science et aux faits, car un champignon ne peut pas végéter dans un liquide alcoolique comme le vin, surtout en l'absence

Digitized by Google

d'oxygène. La seconde hypothèse est *a priori* plus vraisemblable et rappelle d'ailleurs des faits observés à l'époque des grandes invasions de l'oïdium.

Les vins « oïdiés » avaient en effet un goût très spécial, qui fut attribué en grande partie aux spores du cryptogame. Mais le mildiou et l'oïdium ne peuvent avoir d'action comparable au point de vue organoleptique, car, contrairement à l'oïdium, le mildiou atteint très rarement le raisin et ne peut, par suite, souiller la vendange. Ses spores ne tombent donc pas dans la cuve, et, eussent-elles une odeur forte et caractéristique comme celles de l'oïdium, elles ne sauraient modifier ni la qualité des moûts ni le bouquet des vins.

D'ailleurs, beaucoup de vins oïdiés se sont parfaitement conservés, et bien qu'ils possèdent encore leurs caractères d'origine, ils ont une composition normale, comme le prouvent les analyses suivantes :

| | | 1854<br>2e cru Médoc.<br>— | 1854<br>1er cru Médoc.<br>— | 1859<br>1er cru Médoc.<br>— |
|---|---|---|---|---|
| Alcool %.................. | | » | 9°3 | 9°0 |
| Extrait sec, | par litre... | » | 19gr60 | 22gr90 |
| Cendres, | — | » | 2,40 | 2,80 |
| Sulfate de potasse, | — | » | 0,67 | 0,89 |
| Crème de tartre, | — | 2gr83 | 2,20 | 1,88 |
| Acidité totale, | — | 3,90 | 3,83 | 3,80 |
| — volatile, | — | 0,80 | 0,69 | 0,75 |

Au contraire, les vins provenant de vignes atteintes du mildiou (que l'on désigne en général sous le nom de « vins mildiousés ») ont subi le plus souvent une altération profonde et une décomposition complète.

L'altération dont il s'agit a été remarquée surtout sur les vins rouges ; ceux qu'elle atteint se décolorent et deviennent opalescents ; ils se troublent et noircissent à l'air ; ils forment des dépôts abondants dans les barriques et dans les bouteilles ; ils tiennent en dissolution une assez grande quantité d'acide carbonique, dont la pression force les parois des récipients clos, et qui se dégage en fines bulles dès que le liquide est

Digitized by Google

exposé au contact de l'air atmosphérique. Le goût est acidulé et un peu amer; tout bouquet a disparu, sauf au début de la maladie, où il semble, au contraire, légèrement exalté.

Ces caractères des vins dits « mildiousés » sont ceux de la maladie de la « tourne » étudiée par M. Pasteur [1] et par M. Duclaux [2]. Leur analyse chimique montre d'ailleurs, comme pour les vins tournés, que l'extrait sec et la couleur diminuent, que l'acidité totale augmente, que l'acide tartrique et la crème de tartre sont décomposés en produisant des acides volatils en excès. Tout cela ressort du tableau suivant, qui donne, par comparaison, les éléments des vins malades et des vins de même origine conservés sains par la pasteurisation :

| | | N° 1 Vin de 1884 | | N° 2 Vin de 1885 | | N° 3 Vin de 1886 | | N° 4 Vin de 1887 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sain. | Malade. | Sain. | Malade. | Sain. | Malade. | Sain. | Malade [3] |
| Alcool %............ | | 9°6 | 9°6 | 8°8 | 8°8 | 10°6 | 10°4 | 12°0 | 12°0 |
| Extrait sec, | par litre. | 18gr25 | 18gr00 | 18gr50 | 16gr25 | 20gr50 | 18gr75 | 23gr25 | 20gr00 |
| Crème de tartre, | — | 2,05 | 0,00 | 1,70 | 0,00 | 2,10 | 0,70 | 2,40 | 0,00 |
| Acides fixes, | — | 3,37 | 4,45 | 2,59 | 3,37 | 3,18 | 3,13 | 2,73 | 4,08 |
| — volatils, | — | 0,83 | 1,25 | 0,91 | 1,33 | 0,72 | 1,07 | 0,47 | 0,92 |
| Acidité totale, | — | 4,20 | 5,70 | 3,50 | 4,70 | 3,90 | 4,20 | 3,20 | 5,00 |
| Couleur........... | | 100 | 94 | 100 | 87 | » | » | 100 | 92 |

Par leur nature, les acides volatils caractérisent complètement la maladie de la tourne; ils sont, en effet, constitués, comme l'a montré M. Duclaux, par des mélanges en proportions variables d'acide propionique et d'acide acétique. Or, en appliquant les méthodes mêmes de M. Duclaux, nous avons trouvé, M. Dubourg et moi [4], les mêmes acides volatils dans

[1] *Études sur le vin*, 2e édition, p. 31.

[2] *Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. II, p. 315, 1874.

[3] Cet échantillon s'est altéré en bouteille, parce que le vin a été renfermé en vase clos quelques mois seulement après la récolte, sans avoir été purifié de ses germes par une série de soutirages. — Le même vin, conservé en fûts, est resté parfaitement sain.

[4] *Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 1892.

Digitized by Google

tous les vins dits « mildiousés » que nous avons analysés. En voici quelques exemples :

| | N° 1<br>Vin de 1883<br>— | N° 2<br>Vin de 1884<br>— | N° 3<br>Vin de 1886<br>— |
|---|---|---|---|
| Acide propionique, par litre.. | 0gr16 | 1gr18 | 0gr23 |
| Acide acétique, — | 1 ,62 | 1 ,59 | 1 ,29 |
| Total..... | 1gr78 | 2gr77 | 1gr42 |

L'identité entre les vins « mildiousés » et les vins « tournés » ne résulte pas seulement de la comparaison de leurs caractères physiques et chimiques ; ces deux maladies sont encore causées par le même organisme.

Lorsqu'on examine en effet au microscope, avec un grossis-




Fig. 1.

sement de 500 diamètres, un vin qui commence à s'altérer, on y trouve les microbes décrits par M. Pasteur ; ce sont des

Digitized by Google

filaments ou baguettes, A (*fig.* 1), dont chaque article a une longueur de huit à quinze millièmes de millimètre et une épaisseur inférieure à un millième de millimètre.

Ces filaments sont constitués tantôt par un seul élément, tantôt par des séries de deux, trois ou quatre éléments, placés bout à bout ou, plus généralement, articulés, formant des lignes anguleuses et brisées. Ils se multiplient par scissiparité et ne paraissent jamais former de spores, quel que soit le liquide où on les cultive; ils sont immobiles et flottent dans le vin auquel ils donnent sa légère opalescence.

Ils sont anaérobies, c'est-à-dire que l'air les tue ou du moins les paralyse. Aussi se développent-ils moins abondamment dans les barriques que dans les bouteilles. En barrique, en effet, le vin dissout de l'air incessamment par les douves et

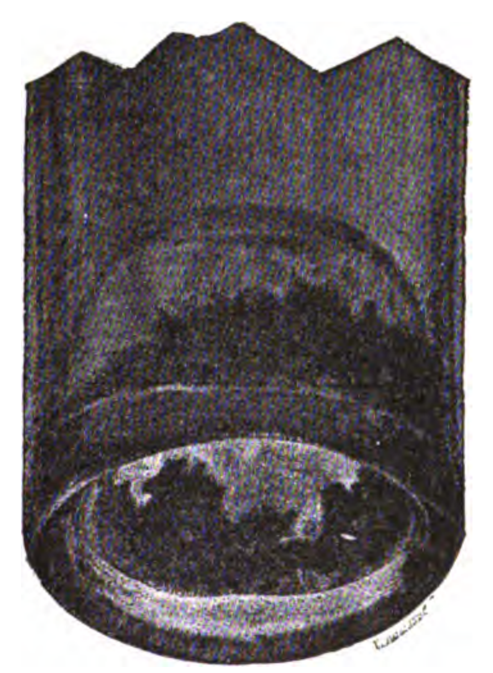


Fig. 2.

par la bonde, sans compter celui qu'il absorbe en abondance pendant les fouettages et les soutirages; en bouteille, au

Digitized by Google

contraire, il est à peu près complètement séquestré et ne peut dissoudre que des traces d'oxygène à travers l'épaisseur du bouchon. C'est ce qui explique comment des récoltes, excellentes jusqu'à la mise en bouteilles, se sont ensuite altérées au point de perdre toute qualité et toute valeur marchande.

Dans ce cas, le dépôt, au lieu d'être faible et adhérent, est abondant, flottant et tombe au fond des bouteilles dès qu'on les redresse. Sa forme et son épaisseur sont caractéristiques à la fois de la nature et de l'intensité de la maladie.

Si l'on regarde une lumière, celle d'une bougie par exemple, à travers la gouttière qui est au fond de la bouteille, on voit alors, comme dans la figure 2, des masses irrégulières, mamelonnées, légères, roulant facilement les unes sur les autres, et dont le diamètre atteint quelquefois deux centimètres et plus, suivant le degré d'altération du vin.

Examinées au microscope, ces masses se résolvent en un feutrage épais de filaments articulés, coudés, repliés sur eux-mêmes et solidement enchevêtrés, comme en B (*fig.* 1); quelques-uns atteignent une longueur de un dixième de millimètre.

Ce sont les mêmes organismes que ceux qui existaient dans le liquide à l'origine de la maladie, mais qui, ayant trouvé un milieu et des conditions favorables à leur multiplication, ont pris un développement considérable.

Ces ferments, comme tous les êtres vivants, ont besoin, pour se multiplier, d'une certaine température; le minimum, pour eux, est de 15 degrés environ. Aussi, dans les caves fraîches, à température constante, les vins se conservent-ils mieux que dans les caves plus chaudes. On connaît de nombreux exemples de vins en bouteilles de même origine, issus de la même barrique, dont une partie, expédiée dans le Nord, est restée en parfait état, et dont l'autre partie, expédiée au Midi ou transportée à travers les mers dans les Indes ou dans l'Amérique du Sud, a subi une altération rapide et complète.

Digitized by Google

En général, les germes de la maladie apparaissent dans la cuve même de vendange, après la fermentation tumultueuse, quand la levure alcoolique commence à manquer de sucre et se trouve gênée par la température élevée de la masse. Les vins sont donc souvent menacés d'altération dès le début de leur existence. S'ils sont bien constitués et s'ils reçoivent des soins suffisants, les germes s'éliminent peu à peu dans les lies; dans le cas contraire, les filaments restent jeunes et actifs et les vins sont condamnés au dépérissement. C'est précisément ce qui est arrivé pour les récoltes provenant de vignes fortement atteintes du mildiou.

Par l'examen microscopique, ainsi que par le dosage de la crème de tartre et des acides volatils, on peut à chaque instant connaître l'état du liquide et ses chances de conservation ou de maladie.

Les accidents survenus à quelques récoltes dans ces dernières années (1) ont donc pour cause immédiate la présence de microbes connus et déjà étudiés par M. Pasteur. Le moyen le plus efficace de s'opposer au développement de ces microbes et de prévenir la décadence plus ou moins rapide des vins est précisément le chauffage, qui tue tous les germes de maladie.

C'est pour démontrer à nouveau l'excellence de cette pratique, autant que pour combler la lacune signalée par M. Pasteur, que j'ai entrepris les expériences qui vont être décrites.

Comme beaucoup de personnes croient encore dans la Gironde que l'application de la chaleur peut, par elle-même, avoir une influence fâcheuse sur les qualités des vins fins, il fallait prouver, pour les produits de notre région, que cette opinion est erronée, et que le chauffage, tout en assurant la

(1) Dans les années 1892 et 1893, à la suite des températures élevées de l'été, il s'est produit quelques fermentations mannitiques, différentes de celles dont il est ici question; elles sont dues à un ferment spécial étudié et décrit dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, n° du 25 février 1894.


Digitized by Google

conservation des vins suspects, ne nuit en rien à leur développement normal et à leur vieillissement progressif en bouteilles.

Pour trouver les échantillons nécessaires à cette double démonstration, je me suis adressé à divers propriétaires et négociants, qui tous ont bien voulu me prêter leur concours et mettre obligeamment à ma disposition les vins de leurs caves particulières. Je suis heureux de les en remercier publiquement, regrettant de n'être autorisé à faire connaître ni leurs noms ni ceux de leurs propriétés.

Les vins rouges ainsi réunis se divisent en deux groupes principaux : 1° ceux *des récoltes postérieures à 1881,* provenant pour la plupart de vignes atteintes de mildiou et qui, en raison des mauvaises conditions de maturation des raisins, avaient une tendance à s'altérer; 2° ceux *de l'année 1881* et *des années antérieures,* choisis parmi les récoltes les mieux réussies et dont la qualité et la bonne tenue étaient éprouvées par une mise en bouteilles déjà ancienne.

Pour les vins du premier groupe, il s'agissait de déterminer le degré de température nécessaire et suffisant pour leur stérilisation complète; pour les vins du second groupe, il fallait rechercher si la pasteurisation avait une influence quelconque sur la marche de leur vieillissement.

Indépendamment des vins rouges, j'ai expérimenté également quelques vins blancs fins de la Gironde, bien que ceux-ci soient à l'abri des maladies, afin de savoir si, en raison de leur richesse habituelle en sucre et en alcool, le chauffage pouvait impunément leur être appliqué.

Avant de procéder aux essais, j'ai prié un certain nombre de propriétaires, de négociants et de courtiers de vouloir bien se réunir et de constituer une Commission chargée d'assister au chauffage des bouteilles, à leur mise en cave et de procéder ultérieurement aux dégustations jugées nécessaires. La Commission ainsi formée se composait de neuf personnes dont je regrette également de ne pouvoir donner les noms, mais à qui

Digitized by Google

j'adresse l'expression de ma profonde gratitude pour le zèle et l'intérêt qu'elles n'ont cessé de témoigner à mes expériences de pasteurisation.

Chaque sorte de vin comprenait douze bouteilles; quatre bouteilles ont été chauffées à 55 degrés; quatre à 60 degrés, et quatre, non chauffées, sont restées comme témoins. Après refroidissement, tous ces vins ont été soigneusement étiquetés et déposés dans une cave de la Faculté des sciences.

L'opération elle-même a été faite avec toutes les précautions indiquées par M. Pasteur, de façon que le vin ne fût à aucun moment au contact de l'air. Les bouchons étaient assujettis avec une ficelle nouée, comme l'indique la figure 3; puis les bouteilles étaient placées côte à côte dans une chaudière, sur des torchons pliés en plusieurs doubles pour éviter l'action trop brusque de la chaleur du foyer; on intercalait une bouteille pleine d'eau et munie d'un thermomètre destiné à indiquer la température réelle du vin, laquelle est toujours inférieure de plusieurs degrés à celle du bain-marie. On remplissait alors d'eau froide jusqu'à la cordeline, et l'on chauffait progressivement avec un fourneau à gaz (*fig.* 4).



Fig. 3.

Dès que la température choisie était atteinte, on éteignait le feu, on vidait le bain-marie et l'on retirait les bouteilles, qu'on laissait refroidir. Quand elles avaient repris la température

Digitized by Google

extérieure, on enfonçait les bouchons légèrement poussés par la dilatation du vin et l'on mettait les étiquettes.

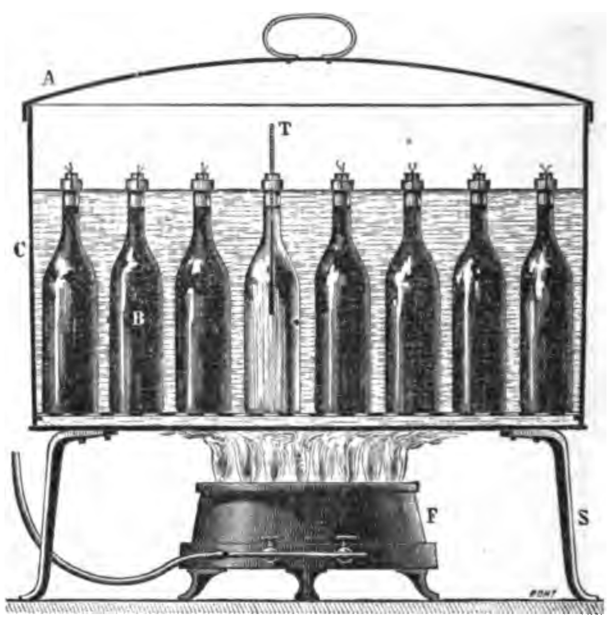


Fig. 4.

Une série de dégustations ont été faites en 1888, 1889, 1890, 1893 et 1894. Dans chaque cas, les échantillons à déguster étaient extraits des casiers 24 heures avant la séance et placés debout dans la pièce où devait se faire la dégustation, de façon que les dépôts fussent réunis au fond des bouteilles et que la température des vins fût celle de la salle. Les étiquettes étaient enlevées et remplacées par les trois lettres A, B, C, lorsqu'il y avait trois échantillons de la même sorte à comparer. L'ordre des lettres n'étant pas le même dans chaque lot, les membres de la Commission ne pouvaient connaître à l'avance les opérations subies par les échantillons soumis à leur appréciation. Après dégustation, chaque membre inscrivait ses notes sur un bulletin spécial, sans le communiquer à ses collègues; on réunissait tous les bulletins dans une enveloppe et, l'opération terminée, on procédait à leur dépouillement.

Dans les premières séances, les échantillons comparés étaient

Digitized by Google

simplement classés par ordre de mérite, au premier, deuxième et troisième rang; mais, comme ce mode de procéder ne permettait pas de juger les véritables différences existant entre eux, on adopta, pour les dernières séances, une notation plus exacte et plus propre à manifester de faibles nuances dans la qualité. Chaque dégustateur donnait la note 10, dans chaque lot, au vin qu'il trouvait le meilleur, et, suivant son appréciation, une note comprise entre 0 et 10 aux vins qu'il trouvait les moins bons. En faisant ensuite la moyenne des notes, on avait ainsi l'expression synthétique de l'opinion de la Commission, et cela sans idée préconçue.

Dans quelques cas, après le dépouillement des votes et le classement des échantillons, mais avant de connaître le traitement subi par ceux-ci, la Commission était appelée à donner, dans une courte formule, la raison de ses préférences.

Les extraits des procès-verbaux annexés plus loin (note A) donnent tous les détails des opérations de la Commission; j'en résume ici seulement les faits principaux, d'abord pour les vins rouges postérieurs à 1881; puis pour les vins rouges de 1881 et des années antérieures, et enfin pour les vins blancs.

La composition chimique des vins mis en expérience se trouve dans une note B, également annexée.

Dans tout ce travail, les différentes sortes de vins sont désignées simplement par l'année de leur récolte, la région qui les a produits et leur place dans la classification officielle.

---

## Ier GROUPE. — Vins rouges des années postérieures à 1881.

I. — 1883. *Premières graves Léognan :* Non décanté, pas de dépôt sensible, chauffé le 14 février 1888. — Richesse alcoolique : 9°6.

Ce lot, dégusté trois fois, le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 6 mars 1894 a donné lieu au classement suivant :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| — 2 ans..... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 6 ans..... | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |



Digitized by Google

Aucun échantillon n'est altéré; le dépôt est très faible et exempt de microbes; l'acidité volatile ne dépasse pas 0gr70 par litre.

II. — 1883. *2e cru Saint-Julien :* Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 21 avril 1887.

Deux dégustations, faites le 16 mai 1888 et le 6 mars 1894, ont donné :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 1 an...... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 7 ans..... | Id. | Id. | Id. |

Les échantillons ne renferment pas de microbes et l'acidité volatile ne dépasse pas 0gr70 par litre; très faible dépôt.

III. — 1884. *Côtes Fronsac :* Non décanté, faible dépôt, chauffé le 17 mars 1888. — Richesse alcoolique : 8°8.

Le vin a été dégusté le 22 février 1890 et le 6 mars 1894; résultat :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 2 ans..... | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| — 6 ans..... | Témoin | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° |

Les différences de goût sont très faibles et la composition chimique est sensiblement la même dans les échantillons comparés. Le dosage de l'acidité et de la crème de tartre donne des nombres normaux, bien que le témoin renferme, dans le dépôt, quelques filaments de la tourne.

IV. — 1884. *Bourgeois supérieur Moulis :* Non décanté, léger dépôt, chauffé le 14 février 1888. — Richesse alcoolique : 9°6.

On a fait trois dégustations successives : le 30 mai 1888, le 29 janvier 1889 et le 22 février 1890; le classement a été :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° |
| — 1 an...... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 2 ans..... | Id. | Id. | Id. |

Le vin témoin renfermait un dépôt abondant, avec de grosses mottes de filaments enchevêtrés; le vin chauffé à 55° était

Digitized by Google

moins altéré et moins riche en microbes; le vin chauffé à 60° était complètement stérilisé. Les deux premiers avaient la tourne à différents degrés d'avancement.

V. — 1884. *Haut Saint-Émilion :* Non décanté, trace très faible de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°6.

On a fait deux dégustations comparatives des trois parties constituant le lot : le 16 mai 1888 et le 29 janvier 1889. Elles ont donné :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| — 1 an...... | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |

Le 22 février 1890, après deux ans, on n'a pu comparer que le vin chauffé à 60° avec le vin non chauffé; l'échantillon chauffé à 55° n'existait plus. L'échantillon à 60° a été trouvé meilleur que le témoin; les vins étaient d'ailleurs à peu près au même degré de conservation; le témoin seul présentait, dans le dépôt, un à deux filaments de tourne par champ.

VI. — 1884. *2e cru Saint-Émilion :* Non décanté, pas de dépôt sensible, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°6.

Dégustés par comparaison le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 6 mars 1894, les échantillons ont été classés comme suit :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 1 an...... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 2 ans..... | Id. | Témoin | Chauffé à 55° |
| — 6 ans..... | Témoin | Chauffé à 60° | Id. |

L'examen microscopique montre que le vin chauffé à 60° est seul stérilisé d'une manière complète; que le vin à 55° et plus encore le vin non chauffé renferment quelques filaments de la tourne; toutefois, les progrès de la maladie ont été à peu près nuls, car le maximum d'acidité volatile a été seulement de 0gr67 par litre.

VII. — 1884. *1er cru Médoc :* Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 25 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 9°8.

Trois dégustations : le 16 mai 1888, le 29 janvier 1889 et le 21 février 1890; résultat :

Digitized by Google

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| — 1 an...... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 2 ans..... | Témoin | Id. | Chauffé à 55° |

Le dépôt n'a pas augmenté sensiblement; le vin ne s'est altéré dans aucun cas; il ne renferme pas de germes de maladie.

VIII. — 1884. *1er cru Médoc :* Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 25 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 9°2.

Ce lot a été dégusté trois fois : le 16 mai 1888, le 21 février 1890 et le 6 mars 1894. On a obtenu :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 2 ans..... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Id. |
| — 6 ans..... | Id. | Témoin | Chauffé à 60° |

Les différences entre les échantillons sont très faibles au point de vue du goût, de la composition chimique et du degré de conservation; ils ont même poids d'acides volatils et sont exempts de microbes.

IX. — 1885. *Artisan Médoc :* Non décanté, traces de dépôt, chauffé le 12 mars 1887.

Classement après deux dégustations, le 16 mai 1888 et le 6 mars 1890 :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 10 mois... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 6 ans.... | Id. | Id. | Id. |

Le dépôt est resté faible dans le vin chauffé à 60°; il est devenu, au contraire, très abondant et présente l'aspect caractéristique de la tourne dans le vin chauffé à 55° et dans le vin non chauffé. L'examen microscopique et l'analyse chimique confirment la déduction tirée de l'aspect des dépôts, car on trouve dans les deux derniers de grandes quantités de filaments longs, jeunes, enchevêtrés, et un grand excès d'acidité totale et d'acidité volatile (voir note B).

Digitized by Google

X. — 1885. *1er cru Graves :* Non décanté, peu de dépôt, chauffé le 14 février 1888. — Richesse alcoolique : 8°8.

Il y a eu trois dégustations, le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 6 mars 1894, qui ont donné le résultat suivant :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 2 ans..... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Id. |
| — 6 ans..... | Id. | Id. | Id. |

Le dépôt est faible dans le vin chauffé à 60°, plus abondant, avec quelques microbes, dans celui chauffé à 55°, considérable et plein de filaments de la tourne dans le vin non chauffé. Celui-ci est complètement décomposé.

XI. — 1886. *Côtes Fronsac :* Mis en bouteilles au moment de l'envoi, pas de dépôt, chauffé le 17 mars 1888. — Richesse alcoolique : 8°8.

Il a été fait deux dégustations de ce lot : le 22 février 1890 et le 6 mars 1894 ; elles ont donné lieu au classement qui suit :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 2 ans..... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 6 ans..... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Id. |

Il s'est formé très peu de dépôt, d'ailleurs adhérent aux parois des bouteilles ; le vin non chauffé renferme, seul, quelques filaments de tourne ; mais il n'est pas sensiblement malade et n'a pas d'excès d'acidité.

XII. — 1886. *5e cru Médoc :* Mis en bouteilles au moment de l'envoi, pas de dépôt, chauffé le 29 mai 1888. — Richesse alcoolique : 9°0.

Trois dégustations ont été faites : le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 6 mars 1894 ; elles ont donné :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Le lendemain.... | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| Après 20 mois... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 6 ans..... | Id. | Id. | Id. |

Il s'est formé des traces de dépôt adhérent dans toutes les bouteilles ; le vin est partout bien conservé, sans microbes et sans excès d'acidité.

Digitized by Google

XIII. — 1886. *1er cru Saint-Émilion :* Mis en bouteilles le 7 janvier 1888 et chauffé le 25 du même mois; pas de dépôt. — Richesse alcoolique : 10°3.

Ce lot a été dégusté trois fois : le 16 mai 1888, le 29 janvier 1889 et le 21 février 1890; résultat :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 1 an...... | Témoin | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° |
| — 2 ans..... | Chauffé à 55° | Id. | Témoin |

Le vin non chauffé est resté sain, malgré quelques microbes filamenteux dans le dépôt.

XIV. — 1887. *Côtes Fronsac :* Mis en bouteilles au moment de l'envoi, pas de dépôt, chauffé le 17 mars 1888. — Richesse alcoolique : 10°7.

Le classement a été, pour les deux dégustations faites le 22 février 1890 et le 6 mars 1894 :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 2 ans..... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 6 ans..... | Id. | Id. | Id. |

Le vin non chauffé est très légèrement altéré; il renferme, en effet, un peu plus d'acidité totale et d'acidité volatile que les deux vins chauffés; le dépôt y présente quelques filaments de la tourne qui n'existent pas dans les autres.

XV. — 1887. *Bourgeois Médoc :* Mis en bouteilles au moment de l'envoi, pas de dépôt, chauffé le 24 décembre 1887. — Richesse alcoolique : 10°6.

Deux dégustations, faites le 21 février 1890 et le 6 mars 1894, ont donné :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang, |
|---|---|---|---|
| Après 2 ans..... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 6 ans..... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Id. |

Le dépôt formé dans les bouteilles chauffées est faible et exempt de microbes; il est au contraire abondant et rempli de mottes de filaments enchevêtrés dans le vin non chauffé.

Digitized by Google

XVI. — 1887. *5e cru Médoc :* Mis en bouteilles et chauffé le 29 mai 1888, pas de dépôt. — Richesse alcoolique : 12°6.

Il y a eu trois dégustations : le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 6 mars 1894; elles ont fourni les résultats suivants :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Dès le lendemain. | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| Après 20 mois.... | Id. | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 6 ans..... | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° |

Les vins comparés sont sensiblement au même état au point de vue de l'épaisseur et de la qualité des dépôts; ils sont tous sans microbes et sans excès d'acidité.

XVII. — 1887. *Côtes Entre-deux-Mers :* Mis en bouteilles le 25 janvier 1888 et chauffé le 27 du même mois, pas de dépôt. — Richesse alcoolique : 11°0.

Le 22 février 1890 et le 6 mars 1894, les vins ont été dégustés comparativement; on a obtenu :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 2 ans ..... | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| — 6 ans ..... | Id. | Id. | Id. |

Le témoin présentait de très rares filaments et possédait un peu plus d'acidité que les deux échantillons chauffés; traces de dépôt dans tous.

XVIII. — 1887. *3e cru Médoc :* Mis en bouteilles le 19 janvier 1888 et chauffé le lendemain, pas de dépôt. — Richesse alcoolique : 12°0.

Il y a eu quatre dégustations pour ce lot : le 30 mai 1888, le 29 janvier 1889, le 22 février 1890 et le 6 mars 1894. Les résultats se classent comme suit :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| — 1 an ...... | Chauffé à 60° | Id. | Témoin |
| — 2 ans ..... | Id. | Témoin | Chauffé à 55° |
| — 6 ans ..... | Id. | Chauffé à 55° | Témoin |

Le vin chauffé à 60° est seul en bon état de conservation, sans microbes et avec un faible dépôt adhérent. Les deux autres ont 2 à 3 centimètres de dépôt flottant, en boules for-

Digitized by Google

mées de filaments de la tourne; la crème de tartre a disparu; l'acidité totale et l'acidité volatile ont augmenté; ils sont décomposés.

**XIX. — 1887.** ***1er cru Médoc :*** **Mis en bouteilles le 20 décembre 1887 et chauffé deux jours après. — Richesse alcoolique : 11°3.**

Voici le résultat des trois dégustations faites le 30 mai 1888, le 29 janvier 1889 et le 22 février 1890 :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 5 mois.... | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| — 1 an...... | Id. | Id. | Id. |
| — 2 ans..... | Id. | Id. | Id. |

Dans ce lot, les deux vins chauffés sont restés sains, sans microbes et avec des traces de dépôt; le vin non chauffé s'est complètement altéré sous l'action d'un très grand nombre de filaments de la tourne (voir son analyse au n° XIX de la note B).

Pour ces trois dernières sortes de vins, un certain nombre de bouteilles ont été chauffées, partie à 55°, partie à 60°, quinze jours environ après leur remplissage, c'est-à-dire après l'absorption complète de l'oxygène dissous au moment du soutirage. Cet essai avait pour but de rechercher si l'on peut sans inconvénient procéder à la pasteurisation dès la mise en bouteilles. Les dégustations comparatives, dont on trouvera le détail aux annexes, ont montré que ce détail était indifférent.

En résumé, si l'on réunit les résultats de toutes les dégustations détaillées ci-devant, on constate que les vins des années postérieures à 1881 ont été dégustés cinquante fois et qu'ils ont été classés ainsi :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. | Au 3e rang. |
|---|---|---|---|
| Échantillons chauffés à 60° ... | 23 | 20 | 7 |
| — — à 55° ... | 19 | 20 | 11 |
| — témoins......... | 8 | 10 | 32 |
| Totaux..... | 50 | 50 | 50 |

Soit en centièmes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Échantillons chauffés à 60° ... | 46 | 40 | 14 |
| — — à 55° ... | 38 | 40 | 22 |
| — témoins......... | 16 | 20 | 64 |
| | 100 | 100 | 100 |

Digitized by Google

Dans tous ces essais, les vins chauffés à 60°, quelle que fût d'ailleurs leur qualité propre, sont restés sains et sans ferments de maladie; ceux qui n'ont été chauffés qu'à 55° se sont altérés quelquefois, notamment dans les lots IV, VI, IX, X et XVIII; les vins non chauffés ont éprouvé une altération plus ou moins profonde dans ces mêmes lots et dans quelques autres, tels que III, V, XI, XIII, XIV, XV, XVII et XIX.

Dans les lots où tous les échantillons étaient bien conservés, les témoins ont été quelquefois préférés aux vins chauffés, comme dans VI, VII et XII, mais avec de faibles nuances.

Le chauffage assure donc la conservation des vins; pratiqué préventivement, selon les principes de M. Pasteur, il empêche à coup sûr leurs maladies. Mais pour les vins de la Gironde, la température de 55° est quelquefois insuffisante; il convient de les soumettre à une température de 60° au minimum.

Ces résultats ont frappé de bonne heure la Commission, car dès sa troisième série de dégustations, elle s'exprimait ainsi :

**« Après avoir étudié, pendant deux ans, les effets du chauffage ou pasteurisation des vins, la Commission organisée par les soins de M. Gayon croit que ce mode de traitement, appliqué à des vins entachés de germes morbides, et notamment de ceux du mildiou, réussit à arrêter le développement de ces germes et par conséquent la décadence du vin. Il peut, dans ce cas, rendre de très grands services. »**

Et après la dégustation faite le 6 mars dernier, la Commission résume ainsi son appréciation :

**« La Commission estime que les effets du chauffage ont été particulièrement sensibles dans les échantillons dont les témoins se sont décomposés, et qu'il est nécessaire de pasteuriser les vins menacés de maladies avant le développement de leurs germes. »**

---

Digitized by Google

## 2e GROUPE. — Vins rouges antérieurs à 1881 inclus.

Les résultats obtenus avec les vins du premier groupe ayant démontré l'insuffisance de la température de 55° pour la stérilisation complète des vins Bordelais, nous ne comparerons, dans ce deuxième groupe, que les échantillons chauffés à 60° avec les échantillons non chauffés.

**XX. — 1874. *2e cru Margaux :* Mis en bouteilles en mars 1877, non décanté, 3 à 4 millimètres de dépôt non adhérent dans la gouttière, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°7.**

Ce vin a été dégusté trois fois : le 16 mai 1888, le 29 janvier 1889 et le 24 février 1890; résultats :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Témoin | Chauffé |
| — 1 an....... | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |

Le 16 mars 1893, il restait un échantillon chauffé à 60°, que la Commission a trouvé bon et agréable et qui a obtenu 64 points sur 70 maximum, soit 9,14 en moyenne.

Les échantillons chauffés à 55° et à 60° sont restés exempts de microbes; dans l'échantillon non chauffé, on a constaté après deux ans, dans le dépôt, dix à quinze longs filaments par champ.

**XXI. — 1877. *1er cru Médoc :* Décanté au moment de l'envoi, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 11°4.**

Il y a eu quatre dégustations : le 16 mai 1888, le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 16 mars 1893; résultats :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé | Témoin |
| — 1 an....... | Témoin | Chauffé |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 5 ans...... | Témoin | Chauffé |

A la dernière dégustation, le vin chauffé a eu pour note

Digitized by Google

moyenne 7,6 et le vin non chauffé 8,6; le premier a été trouvé « plus fin, plus bouqueté et plus développé », et le second, « plus corsé et plus plein ».

Le dépôt, nul au début de l'expérience, atteint 3 à 4 millimètres au fond des bouteilles placées debout; sans microbes dans les échantillons chauffés, il renferme des filaments dans le témoin dès le 29 janvier 1890.

XXII. — 1878. *1er bourgeois Saint-Estèphe :* Non décanté, 1 à 2 millimètres de dépôt flottant au fond des bouteilles, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 11°2.

Il y a eu quatre dégustations, aux mêmes dates que pour le précédent. Les classements successifs ont donné :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Témoin | Chauffé |
| — 1 an....... | Témoin | Chauffé |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 5 ans...... | Chauffé | Témoin |

Les deux échantillons dégustés le 16 mars 1893 ont eu sensiblement les mêmes notes : une moyenne de 9,14 pour le vin chauffé et de 9,07 pour le non chauffé. La Commission a jugé le vin chauffé « plus vif, plus fin et plus bouqueté »; le vin non chauffé, « moins développé et plus corsé ».

Le dépôt a peu augmenté; mais tandis que dans les échantillons chauffés à 60°, il n'y a pas de microbes, on en trouve quelques-uns, cinq à six par champ, dans le dépôt du vin chauffé à 55° et un plus grand nombre, vingt à vingt-cinq par champ, dans le témoin.

XXIII. — 1878. *3e cru Cantenac :* Non décanté, 5 à 6 millimètres de dépôt flottant au fond des bouteilles, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 12°3.

Ce lot a été dégusté trois fois : le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 13 mars 1894. Le classement a été :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 1 an....... | Témoin | Chauffé |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 6 ans...... | Témoin | Chauffé |

Digitized by Google

La différence entre les échantillons comparés est peu sensible; le dépôt n'a pas augmenté, et l'on ne constate que de rares filaments de tourne dans le vin non chauffé. A la dernière dégustation, le vin témoin a été jugé « plus moelleux et moins sec » que le vin chauffé; la moyenne des notes obtenues a été de 9,8 pour le premier et de 8,6 pour le second.

**XXIV. — 1878. *3e cru Saint-Julien* (vin de lies) : Décanté le 23 novembre 1887, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°8.**

On a fait trois dégustations : le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 16 mars 1893. Voici le classement :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 1 an....... | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 5 ans...... | Chauffé | Témoin |

L'écart entre les échantillons est très faible, car, à la dernière dégustation, les notes du vin chauffé ont eu pour moyenne 9,7 et celles du vin témoin 9,3. L'échantillon chauffé a été trouvé « plus frais » et le non chauffé « plus sec et plus fatigué ».

Dans les deux, 1 millimètre environ de dépôt, sans microbes pour le pasteurisé, avec trois à quatre filaments de la tourne, par champ, pour le témoin.

**XXV. — 1878. *3e cru Saint-Julien:* Décanté le 23 novembre 1887, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 11°0.**

Il y a eu trois dégustations : le 16 mai 1888, le 21 février 1890 et le 16 mars 1893. Elles ont donné lieu au classement ci-après :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 5 ans...... | Chauffé | Témoin |

Le chauffé a obtenu, le 16 mars 1893, une note moyenne de 9,9 et le non chauffé une note moyenne de 9,3. Le premier

Digitized by Google

a été jugé « moins avancé et moins sec » et le second « plus sec ».

Le dépôt, très faible, ne présente de microbes dans aucun échantillon.

XXVI. — 1878. *1er cru Médoc :* Décanté au moment de l'envoi, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 12°2.

Trois dégustations : le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 16 mars 1893. Le classement a été :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 1 an....... | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 5 ans...... | Chauffé | Témoin |

Le dépôt atteint 3 à 4 millimètres dans le fond des bouteilles; mais tandis qu'il est exempt de microbes dans les échantillons chauffés, il en renferme un très grand nombre dans le témoin.

XXVII. — 1879. *1er cru Pomerol :* Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 17 mars 1888. — Richesse alcoolique : 11°6.

Une seule dégustation a été faite, le 22 février 1890, deux ans après le chauffage.

Le témoin a été classé premier et le chauffé second, mais avec bien peu de différence entre eux, car l'un et l'autre ont été placés au même rang par trois dégustateurs sur sept.

Le dépôt est de 1 à 2 millimètres, exempt de microbes dans le vin chauffé, mais peuplé de filaments de la tourne dans le non chauffé.

XXVIII. — 1880. *5e cru Pauillac :* Mis en bouteilles en août 1884, non décanté, faible dépôt, chauffé le 4 février 1888. — Richesse alcoolique : 10°7.

Il y a eu trois dégustations : le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 13 mars 1894. Le classement a été :

| | Au 1er rang. | | Au 2e rang. |
|---|---|---|---|
| Après 4 mois..... | Chauffé | | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | | Témoin |
| — 6 ans...... | Chauffé | et | Témoin *ex-æquo* |

Digitized by Google

Le vin chauffé à 60° est exempt de microbes; le vin chauffé à 55° et le témoin renferment de longs filaments de tourne. A la dernière dégustation, la moitié des membres trouvent le témoin « plus avancé et plus maigre » que le chauffé; les autres membres sont d'avis contraire.

XXIX. — 1881. *1er artisan Médoc* : Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 14 mai 1888. — Richesse alcoolique : 9°7.

Trois dégustations, faites le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 13 mars 1894, ont donné les résultats suivants :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 15 jours... | Témoin | Chauffé |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 6 ans...... | Témoin | Chauffé |

Les différences sont très faibles, car à la deuxième dégustation, quatre membres sur sept ont jugé les échantillons égaux, et à la dernière dégustation, le vin chauffé a obtenu la note moyenne de 9,25 contre 9,3 pour le vin témoin.

Le vin chauffé est exempt de dépôt et de microbes; dans le témoin, 2 à 3 millimètres de dépôt au fond de la bouteille, avec quelques filaments de tourne.

XXX. — 1881. *Bourgeois supérieur Saint-Estèphe* : Non décanté, 1 à 2 millimètres de dépôt flottant au fond des bouteilles, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°4.

Ce lot a été dégusté une première fois le 21 février 1890, deux ans après le chauffage. Le témoin a été jugé meilleur que le vin chauffé à 60°, mais tous les deux inférieurs au vin chauffé à 55°.

Il a été dégusté une deuxième fois le 13 mars 1894, après six années d'expérience : le vin chauffé à 60° et le vin non chauffé ont obtenu exactement les mêmes notes. Le dépôt ne s'est pas accru, et on ne trouve de microbes dans aucun des échantillons.

Digitized by Google

XXXI. — 1881. *Bourgeois supérieur Saint-Estèphe :* Non décanté, dépôt très faible, chauffé le 4 février 1888. — Richesse alcoolique : 10°8.

Première dégustation, le 22 février 1890, deux ans après le chauffage; les échantillons chauffés ont été classés avant le témoin.

Deuxième dégustation, le 13 mars 1894, six ans après le chauffage; le vin à 60° obtient pour moyenne la note 9,2 et le témoin 8,7; le premier est trouvé « plus moelleux » et le second « plus maigre ».

Dans les deux échantillons, 2 à 3 millimètres de dépôt au fond de la bouteille; le témoin seul renferme des filaments longs et jeunes de tourne.

XXXII. — 1881. *1er bourgeois Moulis :* Non décanté, 1 à 2 millimètres de dépôt flottant au fond des bouteilles, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 11°2.

Ce lot a été dégusté trois fois : le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 13 mars 1894. Le résultat a été :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| | — | — |
| Après 1 an....... | Témoin | Chauffé |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 6 ans...... | Chauffé | Témoin |

Après deux ans, l'échantillon témoin présente quelques filaments jeunes et déliés de la tourne; dans les vins chauffés on ne trouve que quelques rares microbes incrustés de matières colorantes.

Après six ans, le nombre des microbes s'est accru dans le témoin, qui a été trouvé plus « maigre » avec la note moyenne 7,8; le vin chauffé à 60° était plus « étoffé » avec la note moyenne 9,8.

XXXIII. — 1881. 5e *cru Labarde :* Décanté, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°6.

Il y a eu trois dégustations : le 29 janvier 1889, le 21 février 1890 et le 16 mars 1893. Le classement a donné :

Digitized by Google

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 1 an....... | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 5 ans...... | Témoin | Chauffé |

Les différences sont très faibles, car au 16 mars 1893, les notes moyennes ont été 9,8 pour le témoin et 9,4 pour le chauffé. Le premier a été trouvé « plus avancé » et le second « plus plein, quoique un peu bouchonné ».

Au début, le vin ne renfermait pas de microbes; mais des filaments de la tourne ont apparu de plus en plus nombreux dans les dépôts des échantillons non chauffés; les vins chauffés, au contraire, en sont restés exempts.

XXXIV. — 1881. *5e cru Pauillac :* Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 17 mars 1888. — Richesse alcoolique : 9°5

Une première dégustation a été faite le 22 février 1890, deux ans après le chauffage. Le vin chauffé à 60° a été placé en premier rang et le vin non chauffé en second rang. Le dépôt, de 2 à 3 millimètres au fond des bouteilles, était partout exempt de microbes.

Une deuxième dégustation, faite le 13 mars 1894, après six années d'expérience, a donné une note moyenne de 9,7 au témoin et de 9,3 au vin chauffé; le premier a été trouvé « plus étoffé et plus moelleux », et le second « plus maigre et plus dur ».

XXXV. — 1881. *2e cru Saint-Estèphe :* Non décanté, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°8.

Quatre dégustations successives, faites le 16 mai 1888, le 21 février 1890, le 16 mars 1893 et le 13 mars 1894, ont donné le classement suivant :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 5 ans...... | Témoin | Chauffé |
| — 6 ans...... | Témoin | Chauffé |

A la troisième dégustation, trois membres trouvent l'échantillon chauffé « plus avancé et plus souple » que le vin non chauffé; un membre les trouve égaux; en somme, peu de

Digitized by Google

différence, car la note moyenne est de 9,7 pour le témoin et 9,1 pour le vin chauffé.

La différence est plus faible encore à la quatrième dégustation; le vin témoin obtient la moyenne 9,9 contre 9,7 pour le vin chauffé.

Le dépôt est très faible dans toutes les bouteilles, sans microbes dans les vins chauffés, avec quelques filaments jeunes et bien développés, deux à trois par champ, dans le témoin.

XXXVI. — 1881. *2e cru Saint-Julien :* Décanté au moment de l'envoi, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 24 janvier 1888. — Richesse alcoolique : 10°1.

Ce lot a été dégusté trois fois : le 16 mai 1888, le 29 janvier 1889 et le 21 février 1890. Le classement a été :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé | Témoin |
| — 1 an....... | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |

Le dépôt est peu abondant, exempt de microbes dans les échantillons chauffés, mais non dans les bouteilles témoins, où l'on trouve, par champ, quatre à cinq filaments de la tourne, jeunes et bien développés.

En résumé, abstraction faite de leur âge et de leur qualité, les vins de 1881 et des années antérieures ont été dégustés quarante-neuf fois au cours de cette expérience, c'est-à-dire pendant les six années qui ont suivi l'opération du chauffage. Si l'on réunit tous les résultats en un même tableau synthétique, on trouve que les échantillons chauffés à 60° et les échantillons non chauffés ont été classés comme suit :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Échantillons chauffés. | 26 | 23 |
| Témoins............ | 23 | 26 |
| Totaux..... | 49 | 49 |

Soit, en centièmes :

| | | |
|---|---|---|
| Échantillons chauffés. | 53 | 47 |
| Témoins............ | 47 | 53 |
| | 100 | 100 |



Digitized by Google

Il résulte des dégustations qui précèdent que les différences existant entre les échantillons, chauffés ou non chauffés, d'une même sorte de vin ont été généralement très faibles, qu'elles ont été souvent appréciées en sens contraire par des dégustateurs également habiles et autorisés, et qu'elles n'ont point augmenté avec le temps.

Aussi la Commission, après cinq années de comparaisons successives, a-t-elle formulé à l'unanimité la conclusion suivante dans sa séance du 16 mars 1893 :

**« La chauffage n'a pas arrêté le développement du vin; le vieillissement des vins chauffés et des vins non chauffés a été sensiblement parallèle. »**

Dans sa réunion du 13 mars 1894, la Commission décide de maintenir cette conclusion, et, précisant davantage son jugement, elle ajoute que :

**« Elle estime d'ailleurs que les différences constatées ne lui paraissent pas plus grandes que celles qui existent parfois entre deux bouteilles du même vin provenant d'un même tirage en bouteilles** (1). **»**

---

## 3e GROUPE. — Vins blancs.

Nous ne comparerons ici, comme pour le groupe précédent, que les vins chauffés à 60° avec les vins non chauffés.

XXXVII. — 1878. *1er cru Sauternes :* Mis en bouteilles en novembre 1886, non décanté, pas de dépôt, chauffé le 4 février 1888. — Richesse alcoolique : 14°2; richesse en sucre : 31gr24 par litre.

Ce lot a été dégusté trois fois : le 30 mai 1888, le 22 février

---

(1) Deux vins de Bourgogne : Vougeot 1883 et Beaune 1884, chauffés en 1888, ont été dégustés par la même Commission et ont donné les mêmes résultats que les vins de Bordeaux.

Digitized by Google

1890 et le 16 mars 1893. Le classement du vin chauffé à 60° et du témoin a donné :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Témoin | Chauffé |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 5 ans...... | Chauffé | Témoin |

A la dernière dégustation, le vin chauffé a obtenu une note moyenne de 9,7 et le vin témoin 9,6. La Commission les a jugés « identiques à tous les points de vue ».

Traces de dépôt; pas de microbes.

XXXVIII. — 1881. *Bourgeois Barsac :* Décanté au moment de l'envoi, bouchons neufs, pas de dépôt, chauffé le 17 mai 1888. — Richesse alcoolique : 13°8; richesse en sucre : 4gr08 par litre.

Le résultat a été :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 1 an 1/2.... | Témoin | Chauffé |

Il ne s'est pas fait de dépôt sensible; il ne s'est pas développé de microbes.

XXXIX. — 1883. *2e cru Sauternes :* Mis en bouteilles en novembre 1887, non décanté, pas de dépôt, chauffé le 4 février 1888. — Richesse alcoolique : 10°6; richesse en sucre : 5gr25 par litre.

Trois dégustations ont eu lieu : le 30 mai 1888, le 22 février 1890 et le 6 mars 1894. Voici les résultats :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 6 ans...... | Témoin | Chauffé |

Pas de dépôt; pas de microbes.

XL. — 1885. *Bourgeois Barsac :* Mis en bouteilles au moment de l'envoi, pas de dépôt, chauffé le 4 février 1888. — Richesse alcoolique : 12°8; richesse en sucre : 3gr12 par litre.

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 2 ans...... | Témoin | Chauffé |

Très léger dépôt; pas de microbes.

Digitized by Google

XLI. — 1885. *1er cru Barsac :* Mis en bouteilles le 28 janvier 1888, pas de dépôt, chauffé le 4 février 1888. — Richesse alcoolique : 11°5; richesse en sucre : 4gr26 par litre.

Il y a eu deux dégustations : le 30 mai 1888 et le 22 février 1890; résultat :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 3 mois 1/2. | Chauffé | Témoin |
| — 2 ans...... | Chauffé | Témoin |

Il n'y a ni dépôt ni microbes.

XLII. — 1885. *1er cru Sauternes :* Mis en bouteilles au moment de l'envoi, pas de dépôt, chauffé le 14 février 1888. — Richesse alcoolique : 10°8; richesse en sucre : 6gr52 par litre.

Voici le résultat comparatif de trois dégustations, faites le 22 février 1890, le 16 mars 1893 et le 6 mars 1894 :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Après 2 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 5 ans...... | Chauffé | Témoin |
| — 6 ans...... | Chauffé | Témoin |

A la dernière dégustation, le vin chauffé a obtenu une note moyenne de 9,8 et le vin non chauffé de 8,9; le jury a trouvé « peu de différences entre eux ».

Les deux bouteilles avaient 2 à 3 millimètres de dépôt flottant dans la gouttière du fond, mais pas de microbes.

En résumé, pour les vins blancs, il y a eu treize dégustations, qui ont donné les résultats suivants :

| | Au 1er rang. | Au 2e rang. |
|---|---|---|
| Échantillons chauffés. | 9 | 4 |
| Témoins ............ | 4 | 9 |
| Totaux...... | 13 | 13 |

Soit, en centièmes :

| | | |
|---|---|---|
| Échantillons chauffés. | 69 | 31 |
| Témoins ............ | 31 | 69 |
| | 100 | 100 |

Comme pour les vins rouges, la Commission a reconnu pour les vins blancs, quel que soit leur degré de douceur et d'alcool,

Digitized by Google

que « **le vieillissement des vins chauffés et des vins non chauffés est encore sensiblement parallèle** ».

Il résulte de cette expérience de pasteurisation, poursuivie pendant *six années,* — période qui paraîtra certainement suffisante aux esprits les plus prévenus, — que le chauffage en bouteilles est absolument sans inconvénient pour le développement des qualités des vins fins de la Gironde. Il est démontré, conformément aux résultats obtenus par M. Pasteur sur les vins fins de Bourgogne, et contrairement à l'opinion non justifiée de quelques personnes, que cette pratique a l'avantage d'assurer la conservation des vins sans les immobiliser et sans hâter leur vieillissement, sans exagérer le volume du dépôt et sans modifier d'une manière sensible les transformations lentes qu'amène le temps dans leur constitution normale.

Tous les vins rouges de qualité étudiés dans ce travail (2e groupe) appartenaient à l'année 1881 et aux années antérieures. Or, ils ont été pasteurisés en 1888, plusieurs années après leur mise en bouteilles, soit après un transvasement immédiat, soit en contact avec leurs lies, c'est-à-dire dans les conditions les plus désavantageuses. Il eût certainement mieux valu les chauffer une quinzaine de jours au moins après le remplissage des bouteilles, pendant qu'ils étaient encore parfaitement limpides et après absorption complète de l'oxygène dissous au contact de l'air. Malgré cela, les échantillons témoins et les échantillons chauffés ont vieilli parallèlement et ne différaient pas plus entre eux que deux bouteilles du même vin placées côte à côte dans le même casier.

Mais les vins à peu près exempts de germes de maladie peuvent seuls se conserver pendant deux ou trois années, et attendre en fûts leur mise normale en bouteilles. Ne pourrait-on pas les pasteuriser en nouveau sans nuire à leurs qualités futures?

L'expérience suivante démontre qu'il peut en être ainsi :

Le 24 juin dernier, j'ai fait déguster comparativement deux

Digitized by Google

échantillons d'un même vin rouge de 1887 provenant d'un bon cru du Médoc.

L'échantillon n° 1 avait été mis en bouteille et chauffé à la fin du mois de décembre 1887, c'est-à-dire *trois mois seulement après la récolte,* puis déposé dans une cave de mon laboratoire.

L'échantillon n° 2 avait été mis en bouteille en 1891, après les traitements d'usage en barrique, sans pasteurisation, et conservé dans les caves de la propriété.

A la dégustation, ces vins ont été trouvés bons tous les deux, mais avec une différence énorme en faveur du premier; celui-ci, en effet, avait du fruit, du moelleux, du bouquet, de la finesse, tandis que le second était dur et à peu près sans fruit; ils étaient, d'ailleurs, sensiblement au même degré de vieillissement.

Le dépôt formé dans la bouteille chauffée depuis cinq ans et demi était très peu abondant et occupait à peine trois ou quatre millimètres dans la gouttière du fond.

L'analyse comparative des deux vins a donné :

| | N° 1 | N° 2 |
|---|---|---|
| Alcool | 11°2 | 10°4 |
| Extrait sec par litre | 23g00 | 22g25 |
| Crème de tartre par litre | 2 30 | 2 50 |
| Acidité totale par litre | 3 02 | 3 62 |
| Acidité volatile par litre | 0 58 | 0 82 |

Le vin chauffé avait à peu près la même composition qu'au moment de sa mise en bouteille (11°5 d'alcool), alors que le vin soumis à des soutirages fréquents avait perdu un degré environ d'alcool.

En outre, à l'examen microscopique, le premier se montrait absolument dépourvu de germes de maladie; le second, au contraire, présentait quelques filaments de la tourne bien caractérisés. L'action nuisible de ces filaments était insensible au goût; mais on doit lui attribuer en grande partie la légère augmentation constatée dans l'acidité totale et dans l'acidité volatile.

Digitized by Google

On voit donc que le chauffage en bouteilles peut être pratiqué dès les premiers mois qui suivent la récolte; que non seulement il met le vin à l'abri de toute altération ultérieure et évite les pertes importantes de volume occasionnées par l'évaporation et par les soutirages (15 à 20 pour 100), mais encore qu'il conserve et exalte toutes les qualités de finesse et de bouquet caractéristiques des meilleurs vins.

Les meilleures conditions pour pasteuriser un vin, sans le vieillir artificiellement, sont celles qui sont réalisées par le chauffage en bouteilles fermées. Les appareils industriels doivent donc présenter les mêmes avantages, s'ils sont destinés à des vins fins; ils doivent permettre l'échauffement rapide et le refroidissement complet du liquide, sans que celui-ci soit exposé au contact de l'air. Un grand nombre de constructeurs ont heureusement résolu cette difficulté et livrent au public des pasteurisateurs qui fonctionnent d'après ces principes.

Grâce aux perfectionnements apportés à ces appareils, la pasteurisation est une opération sûre, pratique et peu coûteuse; elle s'impose à la sérieuse attention des viticulteurs et des négociants, qui en retireront de grands avantages, car elle est quelquefois nécessaire et n'altère, en aucun cas, les qualités des vins.

---

Digitized by Google

Digitized by Google

# NOTE A.

## Extraits des Procès-Verbaux des Séances de la Commission.

### Séance du 21 janvier 1888.

M. Gayon présente les uns aux autres, dans son laboratoire à la Faculté des sciences, les membres de la Commission qui ont bien voulu accepter, sur sa demande, de suivre les expériences de pasteurisation qu'il s'est proposé de faire sur les vins de la Gironde, et prie M. M... de prendre la présidence de cette Commission.

M. le Président prie M. Gayon de faire connaître aux membres de la Commission le but et le programme des expériences dont ils auront à apprécier les résultats.

M. Gayon expose les motifs qui l'ont déterminé à étudier d'une façon toute spéciale la question du chauffage appliqué aux vins de notre région.

Depuis 1882, les récoltes ont généralement mal tourné; l'année 1884, à part certaines parties privilégiées du Médoc, a donné des vins qui laissent beaucoup à désirer; les 1885, et surtout les 1886, ont été presque partout défectueux dès le début, et ceux même qui paraissaient bien réussis à l'origine ont périclité, par la suite, d'une façon sensible. On a généralement attribué cet affaiblissement progressif des dernières récoltes à la maladie de la vigne connue sous le nom de mildiou, et on admet communément que les défauts constatés sont dus à la présence du mildew dans le vin : beaucoup de personnes traduisent cette pensée, en disant que ces vins ont *goût de mildiou*. M. Gayon fait observer que cette expression n'est pas exacte et qu'on ne saurait d'ailleurs attribuer le manque de corps, de vinosité et le mauvais goût du vin à la présence des spores du mildiou dans le liquide. Évidemment les atteintes du mildiou sont de nature à affaiblir considérablement la vigne, et la constitution du végétal s'en ressentira d'autant plus que la maladie aura sévi avec plus de violence; mais l'affaiblissement progressif et l'altération ultérieure des qualités du vin proviennent d'une cause directe, bien connue et bien déterminée, due à la présence et au développement dans le vin d'êtres microscopiques ou microbes. Il est facile de s'en rendre compte par l'examen des vins malades au microscope.

Comme l'a montré M. Pasteur, il y a plusieurs variétés de microbes qui provoquent les différentes maladies des vins.

Digitized by Google

M. Gayon appelle particulièrement l'attention de la Commission sur le microbe de la « tourne » qui, dans certains cas, fait des ravages rapides et considérables, produit des altérations profondes et détermine par son développement la décomposition des éléments constitutifs du vin.

Ces microbes existent à l'état de germes dans tous les vins, mais ils se développent plus ou moins facilement suivant le milieu. Il paraît probable que leur germination est d'autant plus intense dans un vin que la vigne qui l'a produit a subi des troubles plus profonds dans ses conditions de végétation. A ce titre, on peut considérer que les attaques si terribles du mildiou modifient sensiblement l'économie du végétal, et que celui-ci fournit alors un produit imparfaitement constitué, qui devient le siège facile du développement des microbes. C'est ainsi qu'il est permis de supposer que le mildiou est la cause indirecte de la mauvaise qualité des vins des dernières récoltes.

Il résulte de ces faits que le seul moyen de s'opposer au développement des microbes et à la décadence plus ou moins rapide d'un vin consiste à tuer les germes de maladies par la chaleur. Ce moyen a été signalé et mis en pratique par M. Pasteur : C'est la *pasteurisation* ou le chauffage des vins.

M. Pasteur a fait des expériences nombreuses et absolument concluantes avec des vins de natures différentes. Il reste prouvé qu'en chauffant un vin en barrique ou mieux en bouteilles, à une température variant entre 55° ou 60° centigrades, on détruit tous les germes de microbes qu'il contenait et on le met ainsi à l'abri de toute décomposition ultérieure. Ce principe a été adopté et appliqué avec succès par un grand nombre de propriétaires et de négociants de la Bourgogne et du Midi. L'industrie a imaginé plusieurs types d'appareils de chauffage qui ont rendu de réels services.

Mais la pasteurisation n'a été employée couramment jusqu'ici que pour des vins ordinaires ou pour des vins fins de Bourgogne; elle est peu connue dans le Bordelais, et beaucoup de personnes objectent que le chauffage, par lui-même, pourrait avoir une action fâcheuse sur les qualités des grands vins de la Gironde.

Il serait donc très intéressant de s'assurer d'abord si le chauffage ne nuit en rien au développement normal et progressif des vins fins en bouteilles et si cette opération, tout en les mettant à l'abri des maladies dues aux microbes, ne modifie nullement, à une époque ultérieure, les qualités qu'ils doivent acquérir par l'âge. C'est là le but principal des expériences qui vont être poursuivies, et il faut déterminer les conditions dans lesquelles on pourrait opérer.

M. Gayon a pu, grâce à l'obligeance des membres de la Commission et de plusieurs propriétaires et négociants, se procurer un certain nombre d'échantillons de vins de différentes années des meilleurs crus de la Gironde, et en particulier du Médoc.

Il propose d'abord de décider si les expériences doivent être faites à une température unique ou à des températures différentes; puis, on

Digitized by Google

pourrait fixer approximativement les époques des dégustations successives des vins chauffés, en prenant pour termes de comparaison une partie des mêmes vins conservés dans des conditions identiques, mais non chauffés. Enfin, il y aurait lieu d'étudier des questions accessoires, telles que l'époque à laquelle doit être effectué le chauffage, soit avant, soit après le soutirage, de suite ou quelque temps après la mise en bouteilles, etc.

Après une discussion à laquelle prennent part M. Gayon et divers autres membres, la Commission décide de faire deux expériences de chauffage, l'une à 55°, l'autre à 60°, et de diviser chaque lot en trois parties : le premier tiers sera gardé comme témoin, le second chauffé à 55° et le troisième à 60°. Chaque lot se composant de douze bouteilles, on aura ainsi quatre bouteilles témoins servant de types de comparaison pour les dégustations, quatre bouteilles à 55°, et quatre bouteilles chauffées à 60°. On pourra de cette façon faire quatre dégustations successives : la première quatre mois environ après l'opération, la seconde quatre mois après la première, la troisième un an et la quatrième deux ans après le chauffage. Les dégustations se succéderont au moins jusqu'à la deuxième année après l'opération, et on pourra constater les modifications survenues dans l'état des vins chauffés, à des époques différentes.

M. J... trouverait utile de faire des expériences de chauffage sur des vins très mildiousés, les 1886 par exemple, afin de constater l'influence de la pasteurisation sur ces vins malades. M. Gayon rappelle que le but essentiel de nos expériences est de démontrer l'innocuité du chauffage au point de vue du développement normal des qualités des vins fins de la Gironde, et c'est pour cette raison qu'il a réuni des vins de différentes années en cours de vieillissement ordinaire et à des degrés divers de maturité en bouteilles.

On ne peut songer, du reste, à restituer à des vins, par le fait du chauffage, les qualités qu'ils ont perdues par la maladie. Cette opération a uniquement pour but d'arrêter le mal et d'empêcher toute altération ultérieure.

Les expériences dont parle M. J... seraient d'ailleurs fort intéressantes, en ce sens qu'elles permettraient de constater la conservation de vins partiellement atteints, mais elles devraient alors constituer une série à part.

M. Gayon propose de nommer une sous-commission de surveillance pour les expériences de chauffage. Deux membres veulent bien se charger d'assister aux opérations.

La Commission décide qu'elle tiendra sa prochaine réunion dans la première quinzaine de mai.

---

Digitized by Google

**Procès-Verbal de la Sous-Commission chargée d'exécuter le chauffage des échantillons.**

**5 mars 1868.**

M. U. Gayon, instigateur de la Commission qui s'est donné pour mission de poursuivre des expériences relatives à la pasteurisation des vins de la Gironde, ainsi que MM. C... et M..., tous les trois membres de la dite Commission, ont procédé au chauffage des différentes séries de vins qui ont été gracieusement envoyés au laboratoire de chimie, cours Victor-Hugo, par divers négociants et propriétaires, pour être soumis à cette opération, laquelle a été faite ainsi qu'il suit :

Le 24 janvier 1888, il a été chauffé quatre bouteilles à 55° et quatre bouteilles à 60° de chacune des séries A à O inclusivement.

Le 25 janvier 1888, il a été chauffé quatre bouteilles à 55° et quatre bouteilles à 60° de chacune des séries P à R inclusivement.

Le 4 février 1888, il a été chauffé quatre bouteilles à 55° et quatre bouteilles à 60° de chacune des séries AA, BB, DD, EE, FF, GG, HH.

Le 14 février 1888, il a été chauffé quatre bouteilles à 55° et quatre bouteilles à 60° de chacune des séries II, JJ, KK, LL, MM, NN.

Après chacune de ces opérations, les bouteilles, soigneusement étiquetées, ont été placées, ainsi que les témoins de chaque série, dans des casiers installés à cet effet dans une cave de l'édifice des Facultés.

Il en a été de même de quelques séries dont le chauffage avait été fait par M. Gayon avant la création de la Commission.

Des indications spéciales, relatives à la provenance des vins, à leur âge, etc., ont été consignées dans un livre *ad hoc*.

En foi de quoi nous avons signé le présent procès-verbal.

---

**Séance du 16 mai 1888.**

La Commission a tenu sa deuxième séance le 16 mai 1888 dans le laboratoire de M. Gayon, à la Faculté des sciences, sous la présidence de M. M... pour procéder à la première dégustation d'un certain nombre de lots de vins chauffés choisis par le Président, parmi ceux dont dispose la Commission.

M. le Secrétaire donne lecture du procès-verbal de la séance du 21 janvier, qui est adopté.

M. Gayon fait connaître à la Commission les dispositions qu'il a prises, de concert avec les membres de la Sous-Commission de surveillance du chauffage, pour présenter les échantillons à la dégustation.

Chaque lot à déguster se compose de trois échantillons : le premier, non chauffé, servant de témoin ; le second chauffé à 55°, et le troisième chauffé à 60°.

Ces échantillons sont désignés par les lettres A, B, C, et l'ordre de ces lettres n'est pas le même dans chaque lot ; les membres de la Commission auront ainsi à se prononcer sur la valeur comparative des échantillons de

Digitized by Google

chaque lot, sans connaître à l'avance les opérations subies par les échantillons en dégustation.

La Commission décide, sur la proposition de M. Gayon, que, dans le tableau consignant les résultats de la dégustation, les vins seront désignés, quant à leur origine, par leur classification commerciale, sans faire mention du nom du cru ni du nom du propriétaire.

La Commission procède à la dégustation des douze lots choisis : chaque membre note ses appréciations, sans les communiquer à ses collègues, puis, l'opération terminée, on opère le classement des échantillons de chaque lot, à la majorité des voix.

Le tableau ci-joint contient les indications relatives à la provenance de chaque lot, à l'époque du chauffage et mentionne les résultats de la dégustation.

La Commission décide qu'elle tiendra sa prochaine séance le 30 mai prochain.

TABLEAU I.

| N<sup></sup>os D'ORDRE de dégustation | ANNÉE de la récolte | DATES DU CHAUFFAGE | CLASSIFICATION COMMERCIALE des vins | CLASSEMENT APRÈS DÉGUSTATION PAR ORDRE DE MÉRITE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1er rang | 2e rang | 3e rang |
| 1 | 1874 | 24 Janvier 1888 | 2e cru Médoc | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° |
| 2 | 1877 | d° | Grand vin Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 3 | 1878 | d° | 1er bourgeois Médoc | Témoin | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° |
| 4 | 1878 | d° | 3e cru Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 5 | 1881 | d° | 2e cru Médoc | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| 6 | 1881 | d° | 2e cru Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 7 | 1884 | d° | Haut Saint-Émilion | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| 8 | 1884 | 25 Janvier 1888 | Grand vin Médoc | Témoin | Chauffé à 55° | Chuaffé à 60° |
| 9 | 1884 | d° | Grand vin Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 10 | 1886 | d° | 1er cru St-Émilion | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 11 | 1885 | 12 Mars 1887 | Artisan Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 12 | 1883 | 21 avril 1887 | 2e cru Médoc | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |

---

Séance du 30 mai 1888.

M. le Secrétaire donne lecture du procès-verbal de la séance du 16 mai, qui est adopté.

La Commission procède à la dégustation de quinze nouveaux lots de vins pasteurisés, choisis par le Président, comme les douze premiers, parmi ceux dont dispose la Commission.

Le tableau ci-joint (II) mentionne les résultats de la dégustation.

Dans le tableau III, également ci-joint, on a :

1° Groupé et classé l'ensemble des échantillons chauffés en bouteilles en une seule série, et dégustés les 16 et 30 mai ;

2° Divisé les mêmes échantillons en deux catégories : l'une comprenant les années antérieures à 1881 incluse, l'autre comprenant les années postérieures à 1881 exclue.

Digitized by Google

TABLEAU II.

| Nos D'ORDRE de dégustation | ANNÉE de la récolte | DATES DU CHAUFFAGE | CLASSIFICATION COMMERCIALE des vins | CLASSEMENT APRÈS DÉGUSTATION PAR ORDRE DE MÉRITE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1er rang | 2e rang | 3e rang | 4e rang | 5e rang |
| **1° Vins rouges chauffés en bouteilles.** | | | | | | | | |
| 13 | 1880 | 4 février 1888 | 5e cru Médoc | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 14 | 1884 | 14 février 1888 | 1er bourgeois Médoc | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° | » | » |
| 15 | 1883 | d° | Premières graves | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° | » | » |
| 16 | 1885 | d° | Vin classé de graves | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 17 | 1884 | 24 janvier 1888 | Graves de Pessac | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° | » | » |
| 18 | 1881 | 14 mai 1888 | 1er artisan Médoc | Témoin | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | » | » |
| 19 | 1886 | 29 mai 1888 | 5e cru Médoc | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | » | » |
| 20 | 1887 | d° | 5e cru Médoc | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° | » | » |
| 21 | 1887 | 20 janvier 1888 et 4 février 1888 (1) | 3e cru Médoc | Témoin | Dernier chauffé à 60° | Premier chauffé à 55° | Premier chauffé à 60° | Dernier chauffé à 55° |
| 22 | 1887 | 24 décembre 1887 et 5 janvier 1888 (1) | Grand vin Médoc | Dernier chauffé à 60° | Dernier chauffé à 55° | Premier chauffé à 55° | Premier chauffé à 60° | Témoin |
| **2° Vins rouges chauffés industriellement (2).** | | | | | | | | |
| 23 | 1886 | 23 avril 1888 | 1er bourgeois Médoc | Témoin | Chauffé à 60° | » | » | » |
| 24 | 1886 | 12 mai 1888 | 1er cru Pomerol | Chauffé à 60° | Témoin | » | » | » |
| **3° Vins blancs chauffés en bouteilles.** | | | | | | | | |
| 25 | 1885 | 4 février 1888 | 1er cru Barsac | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin | » | » |
| 26 | 1883 | d° | 2e cru Sauternes | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° | » | » |
| 27 | 1878 | d° | Grand vin Sauternes | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | » | » |

(1) Chacun de ces deux lots se composait de cinq échantillons : Un échantillon témoin ; deux échantillons chauffés à 55° et à 60° le lendemain de la mise en bouteilles ; deux échantillons chauffés à 55° et à 60°, quinze jours après la mise en bouteilles pour le lot 21, douze jours après la mise en bouteilles pour le lot 22.

(2) Chacun de ces deux lots ne se compose que de deux échantillons : l'un conservé comme témoin, l'autre chauffé industriellement à 60° environ et filtré immédiatement avant la pasteurisation.

Digitized by Google

TABLEAU III. — *1° Résumé du classement des vingt échantillons de vins rouges chauffés en bouteilles en une seule série et dégustés dans les séances des 16 et 30 mai 1888.*

| | NOMBRE D'ÉCHANTILLONS CLASSÉS | | | PROPORTION POUR CENT D'ÉCHANTILLONS CLASSÉS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
| Échantillons chauffés à 60° | 9 | 5 | 6 | 45 | 25 | 30 |
| Id. id. à 55 | 6 | 9 | 5 | 30 | 45 | 25 |
| Témoins................. | 5 | 6 | 9 | 25 | 30 | 45 |
| TOTAUX...... | 20 | 20 | 20 | 100 | 100 | 100 |

*2° Résumé du classement des mêmes vingt échantillons répartis en deux groupes par rapport à l'année 1881. — Proportion pour cent.*

| | ANNÉES ANTÉRIEURES A 1881 INCLUSE 1874, 1877, 1878, 1880, 1881 (8 échantillons) | | | ANNÉES POSTÉRIEURES A 1881 EXCLUE 1883, 1884, 1885, 1886, 1887 (12 échantillons) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
| Échantillons chauffés à 60° | 50 | 37 50 | 12 50 | 41 50 | 17 | 41 50 |
| Id. id. à 55 | 25 | 37 50 | 37 50 | 39 50 | 50 | 16 50 |
| Témoins................. | 25 | 25 | 50 | 25 | 33 | 42 |
| TOTAUX...... | 100 | 100 » | 100 » | 100 » | 100 | 100 » |

---

Séance du 29 janvier 1889.

M. le Secrétaire donne lecture du procès-verbal de la séance du 30 mai 1888, qui est adopté.

La Commission procède à la dégustation de seize lots, dont dix avaient été dégustés dans les séances des 16 et 30 mai 1888; les six autres ont été choisis par le Président parmi ceux dont dispose la Commission.

Les tableaux ci-joints consignent les appréciations de la Commission.

Digitized by Google

TABLEAU IV.

| Nos D'ORDRE de dégustation | ANNÉES de la récolte | DATES DU CHAUFFAGE | CLASSIFICATION COMMERCIALE des vins | CLASSEMENT APRÈS DÉGUSTATION PAR ORDRE DE MÉRITE 1er rang | 2e rang | 3e rang |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **1° Vins rouges chauffés en bouteilles. — Deuxième dégustation.** | | | |
| 28 | 1874 | 24 janvier 1888 | 2e cru Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 29 | 1877 | d° | Grand vin Médoc | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| 30 | 1878 | d° | 1er bourgeois Médoc | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| 31 | 1881 | d° | 2e cru Médoc | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| 32 | 1884 | d° | Haut St-Émilion | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| 33 | 1884 | 25 janvier 1888 | Grand vin Médoc | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| 34 | 1886 | d° | 1er cru St-Émilion | Témoin | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° |
| 35 | 1887 | 20 janvier 1888 | 3e cru Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |
| 36 | 1887 | 21 décembre 1887 | Grand vin Médoc | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin |
| 37 | 1884 | 14 février 1888 | 1er bourgeois Médoc | Chauffé à 60°<br>Chauffé à 55° | *ex-æquo* | Témoin |
| | | | **2° Vins rouges chauffés en bouteilles. — Première dégustation.** | | | |
| 38 | 1878 | 24 janvier 1888 | Grand vin Médoc | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| 39 | 1878 | d° | 3e cru Médoc (vin de lie) | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| 40 | 1878 | d° | 3e cru Médoc | Témoin | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° |
| 41 | 1881 | d° | 1er bourgeois Médoc | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° |
| 42 | 1881 | d° | 5e cru Médoc | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° |
| 43 | 1884 | d° | 2e cru St-Émilion | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin |

TABLEAU V. — *1° Résumé du classement des 16 lots chauffés, compris dans le tableau précédent, et dégustés le 29 janvier 1889.*

| | NOMBRE D'ÉCHANTILLONS CLASSÉS au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | PROPORTION POUR CENT D'ÉCHANTILLONS CLASSÉS au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Échantillons chauffés à 60° | 9 | 3 | 4 | 56 | 19 | 25 |
| Id. id. à 55 | 3 | 7 | 6 | 19 | 44 | 37 |
| Témoins | 4 | 6 | 6 | 25 | 37 | 38 |
| TOTAUX | 16 | 16 | 16 | 100 | 100 | 100 |

Digitized by Google

*2° Résumé du classement de ces 16 lots répartis en deux groupes, par rapport à l'année 1881. — Proportion pour cent.*

| | ANNÉES ANTÉRIEURES A 1881 INCLUSE 1874, 1877, 1878, 1881 (9 échantillons) | | | ANNÉES POSTÉRIEURES A 1881 EXCLUE 1884, 1886, 1887 (7 échantillons) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
| Échantillons chauffés à 60° | 56 | 0 | 44 | 56,5 | 43,5 | 0 |
| Id. id. à 55° | 11 | 44 | 45 | 29 | 42 | 29 |
| Témoins............... | 33 | 56 | 11 | 14,5 | 14,5 | 71 |
| TOTAUX...... | 100 | 100 | 100 | 100 » | 100 » | 100 |

---

Séances des 21 et 22 février 1890.

M. le Secrétaire donne lecture du procès-verbal de la séance du 29 janvier 1889, qui est adopté.

Dans les deux séances du 21 et du 22 février, la Commission procède à la dégustation :

1° De huit lots de vins rouges chauffés en bouteilles en une seule série, déjà dégustés deux fois dans les séances antérieures;

2° De quinze lots de vins rouges chauffés en bouteilles en une seule série, déjà dégustés une fois dans les séances antérieures;

3° De dix lots de vins rouges chauffés en bouteilles en une seule série, non encore dégustés et choisis parmi ceux dont dispose la Commission;

4° De trois lots de vins rouges chauffés en bouteilles en deux séries, dont deux lots déjà dégustés dans les séances antérieures, nos 76 et 77, et un lot, no 78, non encore dégusté;

5° De trois lots de vins rouges chauffés *industriellement* à une température d'environ 60°, dont deux lots déjà dégustés dans une séance antérieure, nos 79 et 80, et un lot, no 81, non encore dégusté;

6° De six lots de vins blancs chauffés en bouteilles en une seule série, dont trois lots déjà dégustés dans une séance antérieure, nos 82 à 84, et trois lots, nos 85 à 87, non encore dégustés.

Le tableau VI consigne les appréciations de la Commission.

Le tableau VII est le résumé du tableau VI; il indique le classement comparé des échantillons chauffés à 60°, à 55°, et des échantillons témoins dans la dégustation des 21 et 22 février 1890.

Enfin, le tableau VIII est le résumé des tableaux III, V et VII; il fournit le classement définitif des soixante-neuf lots de vins rouges chauffés en bouteilles, en une seule série, dégustés dans les cinq séances de la Commission, ces lots étant répartis en deux groupes : l'un comprenant les années antérieures à 1881 incluse, l'autre les années postérieures à 1881 exclue.



Digitized by Google

TABLEAU VI.

| Nos D'ORDRE de dégustation | ANNÉE de la récolte | DATES DU CHAUFFAGE | CLASSIFICATION COMMERCIALE des vins | CLASSEMENT APRÈS DÉGUSTATION PAR ORDRE DE MÉRITE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1er rang | 2e rang | 3e rang | 4e rang | 5e rang |
| | | | **1° Vins rouges chauffés en bouteilles. — Troisième dégustation.** | | | | | |
| 44 | 1874 | 24 janvier 1888 | 2e cru Médoc | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | Témoin | » | » |
| 45 | 1877 | d° | Grand vin Médoc | — à 60° | — à 55° | — | » | » |
| 46 | 1878 | d° | 1er bourgeois Médoc | — à 55° | Témoin | Chauffé à 60° | » | » |
| 47 | 1881 | d° | 2e cru Médoc | — à 60° | — | — à 55° | » | » |
| 48 | 1884 | d° | Haut-Saint-Émilion (1) | — à 60° | — | » | » | » |
| 49 | 1884 | 25 janvier 1888 | Grand vin Médoc | Témoin | Chauffé à 60° | Chauffé à 55° | » | » |
| 50 | 1886 | d° | 1er cru Saint-Émilion | Chauffé à 55° | — à 60° | Témoin | » | » |
| 50 bis | 1884 | 14 février 1888 | 1er bourgeois Médoc | — à 60° | — à 55° | — | » | » |
| | | | **2° Vins rouges chauffés en bouteilles. — Deuxième dégustation.** | | | | | |
| 51 | 1878 | 24 janvier 1888 | Grand vin Médoc | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin (2) | » | » |
| 52 | 1878 | d° | 3e cru Médoc | Témoin | — à 60° | Chauffé à 55° | » | » |
| 53 | 1878 | d° | 3e cru Médoc (vin de lie) | — | — à 60° | — à 55° | » | » |
| 54 | 1878 | d° | 3e cru Médoc | — | — à 55° | — à 60° | » | » |
| 55 | 1881 | d° | 1er bourgeois Médoc | — | — à 60° | — à 55° | » | » |
| 56 | 1881 | d° | 5e cru Médoc | — | — à 60° | — à 55° | » | » |
| 57 | 1881 | d° | 2e cru Médoc | Chauffé à 55° | — à 60° | Témoin | » | » |
| 58 | 1884 | d° | 2e cru Saint-Émilion | — à 60° | Témoin | Chauffé à 55° | » | » |
| 59 | 1884 | 25 janvier 1888 | Grand vin Médoc | — à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 60 | 1880 | 4 février 1888 | 5e cru Médoc | — à 60° | Témoin (3) | Chauffé à 55° | » | » |
| 61 | 1883 | 14 février 1888 | Premières graves | — à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 62 | 1885 | d° | Vin classé de graves | — à 60° | — à 55° | — | » | » |
| 63 | 1881 | 14 mai 1888 | 1er artisan Médoc | — à 55° | Témoin | Chauffé à 60° | » | » |
| 64 | 1886 | 29 mai 1888 | 5e cru Médoc | — à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 65 | 1887 | d° | 5e cru Médoc | — à 60° | — à 55° | — | » | » |

Digitized by Google

### 3° Vins rouges chauffés en bouteilles. — Première dégustation.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 66 | 1881 | 24 janvier 1888 | 1er bourgeois Médoc | Chauffé à 55° | Témoin | Chauffé à 60° | » | » |
| 67 | 1886 | 24 décembre 1887 | Petites graves (4) | — à 55° | — | — à 60° | » | » |
| 68 | 1886 | 8 décembre 1887 | Bas Médoc | — à 55° | — | — à 60° (5) | » | » |
| 69 | 1887 | 24 décembre 1887 | Bas Médoc | — à 60° | Chauffé à 55° | Témoin | » | » |
| 70 | 1881 | 4 février 1888 | 1er bourgeois Médoc | — à 60° | — à 55° | — | » | » |
| 71 | 1879 | 17 mars 1888 | 1er cru Saint-Émilion | Témoin | — à 60° | Chauffé à 55° | » | » |
| 72 | 1884 | d° | Côtes Fronsac | Chauffé à 60° / Témoin | ex-æquo | — à 55° | » | » |
| 73 | 1886 | d° | Côtes Fronsac | Chauffé à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 74 | 1887 | d° | Côtes Fronsac | — à 55° | — à 60° | — | » | » |
| 75 | 1881 | d° | 5e cru Médoc | — à 60° | Témoi | Chauffé à 55° | » | » |

### 4° Vins rouges chauffés en bouteilles en deux séries.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 76 | 1887 | 20 janvier 1888 et 4 février 1888 | 3e cru Médoc (6) | Dernier chauffé à 55° | Premier chauffé à 60° | Dernier chauffé à 60° | Témoin | Premier chauffé à 55° |
| 77 | 1887 | 24 décembre 1887 et 5 janvier 1888 | Grand vin Médoc (6) | Premier chauffé à 55° | Dernier chauffé à 60° | Dernier chauffé à 55° | Premier chauffé à 60° | Témoin |
| 78 | 1887 | 27 janvier 1888 et 14 février 1888 | Côtes Entre-deux-Mers (7) | Dernier chauffé à 55° | Premier chauffé à 60° | Dernier chauffé à 60° | Premier chauffé à 55° | — |

### 5° Vins rouges chauffés industriellement.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 79 | 1886 | 23 avril 1888 | 1er bourgeois Médoc (8) | » | » | » | » | » |
| 80 | 1886 | 12 mai 1888 | 1er cru Pomerol (8) | Chauffé à 60° | Témoin | » | » | » |
| 81 | 1887 | Janvier 1888 | Grand vin Médoc (9) | — à 60° | — | » | » | » |

### 6° Vins blancs chauffés en bouteilles.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 82 | 1885 | 4 février 1888 | 1er cru Barsac (10) | Chauffé à 60° | Témoin | Chauffé à 55° | » | » |
| 83 | 1883 | d° | 2e cru Sauternes (10) | — à 55° | Chauffé à 60° | Témoin | » | » |
| 84 | 1878 | d° | Grand vin Sauternes (10) | — à 60° | Témoin | Chauffé à 55° | » | » |
| 85 | 1885 | d° | Bourgeois Barsac (11) | Témoin | Chauffé à 60° | — à 55° | » | » |
| 86 | 1885 | 14 février 1888 | 1er cru Sauternes (11) | Chauffé à 60° | — à 55° | Témoin | » | » |
| 87 | 1881 | 17 mai 1888 | Bourgeois Barsac (11) | Témoin | — à 60° | Chauffé à 55° | » | » |

(1) Il ne restait plus, pour ce lot, d'échantillon à 55°. — (2) L'échantillon témoin était bouchonné. — (3) L'échantillon témoin était bouchonné. — (4) Les trois échantillons étaient très mauvais. — (5) L'échantillon chauffé à 60° était très bouchonné. — (6) Deuxième dégustation (Voir note du tableau II). — (7) Première dégustation. Ce lot se composait de cinq échantillons mis en bouteilles le même jour : un échantillon témoin ; deux échantillons chauffés à 55 et 60° le lendemain de la mise en bouteilles ; deux échantillons chauffés à 55 et 60°, dix-neuf jours après la mise en bouteilles. — (8) Deuxième dégustation. Les deux échantillons du lot 79 étaient tous deux très mauvais et incomparables entre eux. — (9) Première dégustation. — (10) Deuxième dégustation. — (11) Première dégustation.



Digitized by Google

TABLEAU VII. — *1° Résumé du classement des 33 lots vins rouges et des 6 lots vins blancs chauffés en une seule série et dégustés les 21 et 22 février 1890.*

| | NOMBRE D'ÉCHANTILLONS CLASSÉS | | | PROPORTION POUR CENT D'ÉCHANTILLONS CLASSÉS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
| **1° Vins rouges (33 lots).** | | | | | | |
| Échantillons chauffés à 60° | 13 | 14 | 6 | 39 | 43 | 18 |
| Id. id. à 55 | 13 | 9 | 11 | 40 | 27 | 33 |
| Témoins................. | 7 | 10 | 16 | 21 | 30 | 49 |
| TOTAUX...... | 33 | 33 | 33 | 100 | 100 | 100 |
| **2° Vins blancs (6 lots).** | | | | | | |
| Échantillons chauffés à 60° | 3 | 3 | 0 | 50 | 50 | 0 |
| Id. id. à 55 | 1 | 1 | 4 | 17 | 16 | 67 |
| Témoins................. | 2 | 2 | 2 | 33 | 34 | 33 |
| TOTAUX...... | 6 | 6 | 6 | 100 | 100 | 100 |

*2° Résumé du classement des 33 lots vins rouges répartis en deux groupes, par rapport à l'année 1881. — Proportion pour cent.*

| | ANNÉES ANTÉRIEURES A 1881 INCLUSE 1874, 1877, 1878, 1879, 1880, 1881 (17 lots) | | | ANNÉES POSTÉRIEURES A 1881 EXCLUE 1883, 1884, 1885, 1886, 1887 (16 lots) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
| Échantillons chauffés à 60° | 36 | 41 | 23 | 44 | 44 | 12 |
| Id. id. à 55 | 29 | 24 | 47 | 50 | 25 | 25 |
| Témoins................. | 35 | 35 | 30 | 6 | 31 | 63 |
| TOTAUX...... | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

TABLEAU VIII. — *Classement des 69 lots vins rouges chauffés en bouteilles en une seule série, dégustés les 16 et 30 mai 1888, 29 janvier 1889 et 21 et 22 février 1890, répartis en deux groupes, par rapport à l'année 1881.*

| | ANNÉES ANTÉRIEURES A 1881 INCLUSE 1874, 1877, 1878, 1879, 1880 1881 (34 lots) | | | ANNÉES POSTÉRIEURES A 1881 EXCLUE 1883, 1884, 1885, 1886, 1887 (35 lots) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang | au 1er rang | au 2e rang | au 3e rang |
| Échantillons chauffés à 60° | 44 | 29 | 27 | 46 | 34 | 20 |
| Id. id. à 55 | 24 | 32 | 44 | 40 | 40 | 20 |
| Témoins................. | 32 | 39 | 29 | 14 | 26 | 60 |
| TOTAUX...... | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Digitized by Google

Après ces diverses dégustations, la Commission résume comme suit son appréciation :

Après avoir étudié pendant deux ans les effets du chauffage ou pasteurisation des vins, la Commission organisée par les soins de M. Gayon croit que ce mode de traitement, appliqué à des vins entachés de germes morbides, et notamment de ceux du mildiou, réussit à arrêter le développement de ces germes et par conséquent la décadence du vin. Il peut, dans ce cas, rendre de très grands services.

Quant aux vins exempts de ces germes, il paraît inutile de leur faire subir cette opération, qui a pour effet, dans certains cas, de les avancer un peu trop prématurément. Le développement naturel paraît préférable.

---

### Séance du 16 mars 1893.

M. le Président rappelle aux membres de la Commission que le but principal de la réunion est d'apprécier, par la dégustation des échantillons de vins chauffés et non chauffés qui restent à la disposition de la Commission, si l'action du chauffage produit des modifications sensibles au goût et à l'odorat dans des vins bien constitués, et si cette opération a une influence sur le vieillissement normal du vin.

M. Gayon demande à ses collègues de traduire par des chiffres la valeur comparative des échantillons qui seront soumis à la dégustation, et il propose que chacun des membres de la Commission donne une note de 0 à 10 aux vins dégustés, en attribuant, dans chaque lot, la note 10 à celui des deux échantillons, chauffé ou témoin, qui sera trouvé le meilleur.

La proposition est adoptée.

M. Gayon fait ressortir ensuite l'intérêt qu'il y aurait, dans un but purement scientifique, à publier, sous sa propre responsabilité, les résultats généraux des travaux de la Commission, et à faire connaître les conséquences pratiques qui pourraient être déduites de ces travaux au point de vue spécial de la pasteurisation des vins de la Gironde.

Les membres présents donnent leur assentiment à la proposition de M. Gayon, en établissant toutefois que, pour des raisons diverses et particulières, M. Gayon ne publiera aucun nom et qu'il se bornera à faire connaître que les différentes dégustations ont été opérées par une Commission de personnes compétentes appartenant au commerce et à la propriété.

La Commission procède alors à la dégustation de neuf lots de vins rouges et de deux lots de vins blancs, composés chacun d'un échantillon chauffé à 60° et d'un échantillon témoin.

1er Lot. — N° d'ordre 2.

*Grand vin 1877.*

| | | |
|---|---|---|
| Nombre de points obtenus. | A (chauffé) = 61 | Plus fin, plus bouqueté. |
| | B (témoin) = 65 | Plus corsé, plus plein. |


Digitized by Google

2e Lot. — No d'ordre 3.

*Bourgeois supérieur 1878.*

Nombre de points obtenus. { A (chauffé) = 64 Plus vif, plus fin, plus bouqueté.
B (témoin) = 63 1/2 Moins développé, plus corsé.

3e Lot. — No d'ordre 4.

*Grand vin 1878.*

Nombre de points obtenus. { A (témoin) = 26 } Quatre membres de la Commission ont trouvé les deux échantillons défectueux et
B (chauffé) = 26 } leur ont donné la note 0.

4e Lot. — No d'ordre 5.

*3e cru 1878.*

Nombre de points obtenus. { A (chauffé) = 69 1/2 Moins avancé, moins sec.
B (témoin) = 65 Plus sec.

5e Lot. — No d'ordre 6.

*Vin de lies du 3e cru 1878 précédent.*

Nombre de points obtenus. { A (témoin) = 65 Plus sec, plus fatigué.
B (chauffé) = 68 Plus frais.

6e Lot. — No d'ordre 9.

*5e cru 1881.*

Nombre de points obtenus. { A (témoin) = 59 Plus avancé.
B (chauffé) = 56 1/2 Plus plein, quoiqu'un peu bouchonné.

7e Lot. — No d'ordre 11.

*2e cru 1881.*

Nombre de points obtenus. { A (chauffé) = 63 1/2 } Trois membres de la Commission trouvent l'échantillon A plus avancé,
B (témoin) = 68 } plus souple que B.

8e Lot. — Sans numéro.

*Grand vin 1887.*

Nombre de points obtenus. { A (chauffé) = 66 L'échantillon a été chauffé industriellement en 1888 et mis en bouteille en 1890.
B (témoin) = 69 Plus gras, plus complet.

9e Lot. — No d'ordre 1.

*2e cru 1874.*

Ce lot consiste simplement en un échantillon chauffé en 1888. La majorité de la Commission trouve cet échantillon chauffé bon et agréable. Il réunit 64 points sur 70 (maximum).

1er Lot vin blanc. — No d'ordre 38.

*Grand vin blanc 1878.*

Nombre de points obtenus. { A (témoin) = 67 } Identiques de qualité.
B (chauffé) = 67 1/2 }

Digitized by Google

2e Lot vin blanc. — N° d'ordre 39 *bis*.
*1er cru Sauternes 1885.*

Nombre de points obtenus. { A (chauffé) = 67 / B (témoin) = 63 1/2 } Peu de différence entre eux.

Après la dégustation des lots énumérés ci-dessus, M. le Président croit résumer les appréciations générales de la Commission en constatant que les différences entre les vins chauffés et non chauffés sont très faibles, et il propose de traduire l'impression générale en concluant que : « Le chauffage n'a pas arrêté le développement naturel des vins soumis à l'expérience, et que le vieillissement des vins chauffés et non chauffés a été sensiblement parallèle, cette conclusion s'appliquant aussi bien aux vins blancs qu'aux vins rouges. »

La proposition de M. le Président est adoptée à l'unanimité par les membres de la Commission.

---

Séance du 6 mars 1894.

La Commission a dégusté, dans cette séance, seize échantillons de vins rouges et deux échantillons de vins blancs postérieurs à l'année 1881.

Elle résume ainsi son appréciation : « La Commission estime que les effets du chauffage ont été particulièrement sensibles dans les échantillons dont les témoins se sont décomposés, et qu'il est nécessaire de pasteuriser les vins menacés de maladie avant le développement de leurs germes. »

---

Séance du 13 mars 1894.

La Commission avait à apprécier dans cette séance la valeur relative de deux échantillons, l'un témoin, l'autre chauffé à 60°, pour douze lots différents de vin rouge des années antérieures à 1881.

La Commission a décidé, après dégustation, de maintenir les conclusions formulées dans le procès-verbal de la réunion du 16 mars 1893, relativement aux vins antérieurs à 1881.

Elle estime d'ailleurs que les différences constatées ne lui paraissent pas plus grandes que celles qui existent parfois entre deux bouteilles du même vin provenant d'un même tirage en bouteilles.

Avant la clôture des opérations de la Commission, M. Gayon annonce qu'il va résumer les résultats des dégustations faites depuis 1888 dans une brochure qu'il sera heureux d'adresser à chacune des personnes qui ont bien voulu lui prêter leur concours, et il remercie les membres de la Commission, spécialement leur honorable Président, de l'empressement qu'ils ont mis à suivre ses expériences de pasteurisation.


Digitized by Google

## NOTE B. — Composition des vins mis en expérience.

| N°s d'ordre | Année de la récolte | Nature des échantillons | Alcool 0/0 | Extrait par litre: dans le vide | Extrait par litre: à 100° | Sucre réducteur par litre | Cendres par litre | Sulfate de potasse par litre | Crème de tartre par litre | Acidité par litre: totale | Acidité par litre: volatile | Tannin par litre | Couleur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **1er Groupe. — Vins rouges postérieurs à 1881 exclue.** | | | | | | | | | | | |
| I | 1883 | Premières graves Léognan...... | 9°6 | 24g50 | 17g50 | » | 3g00 | 0g60 | 1g80 | 3g40 | 0g65 | 1g41 | » |
| II | 1883 | 2e cru Saint-Julien............. | » | » | » | » | » | » | » | 3.37 | 0.67 | » | » |
| III | 1884 | Côtes Fronsac................... | 8.8 | 21.50 | 18.00 | » | 3.25 | 0.79 | 2.00 | 4.30 | 0.85 | 1.91 | » |
| IV | 1884 | Bourgeois Sup. Moulis { chauffé..... | 9.6 | 24.50 | 18.25 | » | 2.75 | 0.75 | 2.05 | 4.20 | 0.83 | 1.41 | 100 |
| | | { non chauffé. | 9.6 | 22.50 | 18.00 | » | 2.80 | 0.60 | 0.00 | 5.70 | 1.25 | 1.45 | 94 |
| V | 1884 | Haut Saint-Émilion............ | 10.6 | » | 21.00 | » | 2.40 | 0.54 | 2.12 | 3.96 | » | 1.54 | » |
| VI | 1884 | 2e cru Saint-Émilion........... | 10.6 | » | 19.25 | » | 2.90 | 0.60 | 1.65 | 3 20 | 0.63 | 0.97 | » |
| VII | 1884 | 1er cru Médoc................... | 9.8 | » | 19.25 | » | 3.50 | 0.75 | 2.05 | 4.10 | » | 1.66 | » |
| VIII | 1884 | 1er cru Médoc................... | 9.2 | » | 19.75 | » | 3.75 | 0.70 | 1.65 | 3.90 | 0.74 | 1.79 | » |
| IX | 1885 | Artisan Médoc { chauffé à 60°. | » | » | » | » | » | » | » | 4.05 | 0.91 | » | » |
| | | { — à 55°. | » | » | » | » | » | » | » | 4.93 | 1.65 | » | » |
| | | { non chauffé.. | » | » | » | » | » | » | » | 5.07 | 2.72 | » | » |
| X | 1885 | 1er cru graves { chauffé...... | 8.8 | 21.50 | 18.50 | » | 3.75 | 0.65 | 1.70 | 3.50 | 0.74 | 1.16 | 100 |
| | | { non chauffé.. | 8.8 | 21.80 | 16.25 | » | 3.50 | 0.70 | 0.00 | 4.70 | 1.77 | 1.16 | 87 |
| XI | 1886 | Côtes Fronsac................... | 8.8 | 25.80 | 19.00 | » | 3.15 | 0.45 | 1.65 | 4.00 | 0.75 | 1.62 | » |
| XII | 1886 | 5e cru Médoc.................. | 9.0 | » | 20.00 | » | 4.10 | 0.45 | 1.80 | 3.70 | 0 58 | 1.12 | » |
| XIII | 1886 | 1er cru Saint-Émilion.......... | 10.3 | » | 21.50 | » | 3.90 | 0.45 | 2.20 | 3.04 | 0.67 | 2.04 | » |
| XIV | 1887 | Côtes Fronsac.............. | 10.7 | 25.00 | 18.50 | » | 2.50 | 0.37 | 2.75 | 4.10 | 0.35 | 2.27 | » |
| XV | 1887 | Bourgeois Médoc { chauffé..... | 10 6 | » | 21.75 | » | 2.10 | 0.45 | 2.55 | 3.91 | 0.33 | 2.23 | » |
| | | { non chauffé. | » | » | » | » | » | » | 0.00 | 5.40 | 1.35 | » | » |
| XVI | 1887 | 5e cru Médoc....... ... ....... | 12.6 | » | 22.50 | » | 3.50 | 0 21 | 2.30 | 3.70 | 0.45 | 2.37 | » |
| XVII | 1887 | Entre-deux-Mers { chauffé..... | 11.0 | 27.20 | 18.75 | » | 2.75 | 0.30 | 2.30 | 3.70 | 0.53 | 1.20 | 100 |
| | | { non chauffé. | 11.0 | 24.50 | 18.50 | » | 2.75 | 0.30 | 0.35 | 4.10 | 1.29 | 1.15 | 85 |
| XVIII | 1887 | 3e cru Médoc { chauffé..... | 12.0 | 30.00 | 23.25 | » | 3.75 | 0.45 | 2.40 | 3.20 | 0.47 | 2.17 | 100 |
| | | { non chauffé. | 12.0 | 28.50 | 20.00 | » | 3.75 | 0.45 | 0.00 | 5.00 | 1.52 | 2.08 | 92 |
| XIX | 1887 | 1er cru Médoc { chauffé..... | 11.3 | 28.80 | 22.25 | » | 3.00 | 0.37 | 2.85 | 3.10 | 0.55 | 2.33 | 100 |
| | | { non chauffé. | 11.2 | 26.50 | 21.00 | » | 3.25 | 0 48 | 0.00 | 4 70 | 1.38 | 2.12 | 85 |

Digitized by Google

| Nos d'ordre | Année de la récolte | Nature des échantillons | Alcool 0/0 | Extrait par litre dans le vide | Extrait par litre à 100° | Sucre réducteur par litre | Cendres par litre | Sulfate de potasse par litre | Crème de tartre par litre | Acidité par litre totale | Acidité par litre volatile | Tannin par litre | Couleur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **2e Groupe. — Vins rouges antérieurs à 1881 incluse.** | | | | | | | | | | | |
| XX | 1874 | 2e cru Margaux | 10°7 | 28g00 | 21g00 | » | 3g10 | 0g55 | 1g95 | 3g80 | 0g90 | 1g08 | » |
| XXI | 1877 | 1er cru Médoc | 11.4 | 28.50 | 20.50 | » | 2.50 | 0.53 | 1.40 | 3.90 | 0.78 | 1.58 | » |
| XXII | 1878 | Bourgeois supérieur St-Estèphe. | 11.2 | 27.00 | 20.00 | » | 2.65 | 0.32 | 1.82 | 3.86 | 0.80 | 1.27 | » |
| XXIII | 1878 | 3e cru Cantenac | 12.3 | » | 23.75 | » | 2.50 | 0.72 | 1.75 | 4.02 | 0.91 | 1.20 | » |
| XXIV | 1878 | 3e cru Saint-Julien | 10.8 | » | 20.25 | » | 3.00 | 0.63 | 1.63 | 3.84 | 1.06 | 1.00 | » |
| XXV | 1878 | 3e cru Saint-Julien | 11.0 | » | 20.25 | » | 2.75 | 0.60 | 1.65 | 3.88 | 1.00 | 1.08 | » |
| XXVI | 1878 | 1er cru Médoc | 12.2 | 30.00 | 22 75 | » | 3.00 | 0.55 | 1.62 | 4.10 | 1.09 | 1.27 | » |
| XXVII | 1879 | 1er cru Pomerol | 11.6 | 26.20 | 18.75 | » | 2.50 | 0.42 | 1.85 | 4.04 | » | 2.08 | » |
| XXVIII | 1880 | 5e cru Pauillac | 10.7 | 26.80 | 18.75 | » | 2.75 | 0.45 | 2.15 | 4.10 | 0.86 | 1.62 | » |
| XXIX | 1881 | 1er artisan Médoc | 9.7 | 27.50 | 19.25 | » | 2.50 | 0.63 | 2.55 | 3.50 | 0.48 | 1.16 | » |
| XXX | 1881 | Bourgeois supérieur St-Estèphe. | 10.4 | » | 22.65 | » | 3.00 | 0.75 | 2.08 | 4.04 | 0.72 | 1.62 | » |
| XXXI | 1881 | Id. id. St-Estèphe. | 10.8 | 26.50 | 19.00 | » | 2.50 | 0.97 | 2.10 | 4.30 | 0.85 | 2.27 | » |
| XXXII | 1881 | Id. id. Moulis | 11.2 | » | 21.00 | » | 2.60 | 0.60 | 2.32 | 3 60 | 0.52 | 1.25 | » |
| XXXIII | 1881 | 5e cru Labarde | 10.6 | » | 21.00 | » | 2.25 | 0.72 | 2.12 | 3.50 | 0.62 | 1.83 | » |
| XXXIV | 1881 | 5e cru Pauillac | 9.5 | 27.00 | 20.25 | » | 2.50 | 0.90 | 2.45 | 4 50 | 0.65 | 1.83 | » |
| XXXV | 1881 | 2e cru Saint-Estèphe | 10.8 | » | 23.50 | » | 2.40 | 0.60 | 2.05 | 3 80 | 0.67 | 1.87 | » |
| XXXVI | 1881 | 2e cru Saint-Julien | 10.1 | » | 20.75 | » | 2.40 | 0.75 | 2.20 | 3.74 | » | 1.50 | » |
| | | **3e Groupe. — Vins blancs.** | | | | | | | | | | | |
| XXXVII | 1878 | 1er cru Sauternes | 14°2 | » | 63.25 | 31g21 | 3.40 | 2.18 | 1.44 | 5.40 | 0.75 | 0.87 | » |
| XXXVIII | 1881 | Bourgeois Barsac | 13.8 | » | 25 50 | 4.08 | 2.00 | 1.87 | 1.61 | 5.10 | » | 0.97 | » |
| XXXIX | 1883 | 2e cru Sauternes | 10.6 | » | 24.25 | 5.25 | 2.50 | 1.95 | 1.05 | 4.50 | 0.95 | 0.66 | » |
| XL | 1885 | Bourgeois Barsac | 12.8 | » | 25.25 | 3.12 | 3.40 | 0.87 | 1.70 | 4.50 | » | 0.71 | » |
| XLI | 1885 | 1er cru Barsac | 11.5 | » | 28.75 | 4.26 | 3.40 | 0.97 | 1.89 | 4.60 | » | 0.83 | » |
| XLII | 1885 | 1er cru Sauternes | 10.8 | » | 27.75 | 6 52 | 3.90 | 0.95 | 1.70 | 4.37 | 1.45 | 0.79 | » |

Digitized by Google

Digitized by Google

# TABLE DES MATIÈRES



Bordeaux. — Imp. G. GOUNOUILHOU, rue Guiraude, 11

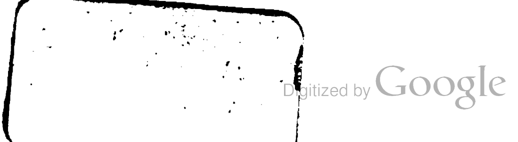
Digitized by Google

S 33.2

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google


Widener Library
3 2044 090 859 273
Digitized by Google